

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

**В. Н. ДОЛГУНИН, П. А. ИВАНОВ, В. А. ПРОНИН**

# **МЕТОДЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА**

Утверждено Учёным советом университета  
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся  
по направлениям 260100.62 «Продукты питания из растительного сырья»,  
240700.62 «Биотехнология»



---

Тамбов  
◆Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»◆  
2014

УДК 62:001.8  
ББК Ж.у(2)4я73-2  
Д64

Рецензенты:

Кандидат технических наук генеральный директор ООО «Новак»  
*Ю. В. Родионов*

Кандидат технических наук, профессор кафедры  
«Технологические процессы, аппараты и технологическая безопасность»  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
*Г. С. Кормильцин*

Д64

**Долгунин, В. Н.**

Методы научно-технического творчества : учебное пособие для студентов направлений 260100.62 «Продукты питания из растительного сырья» и 240700.62 «Биотехнология» / В. Н. Долгунин, П. А. Иванов, В. А. Пронин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 80 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-1268-5.

Представлен материал, изучение которого позволит сформировать у студентов предусмотренные стандартом компетенции и выработать у них следующие знания, умения и опыт: уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь, способность изучать и анализировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования; быть готовым проводить измерения и наблюдения, составлять описания проводимых исследований, анализировать результаты исследований и использовать их при написании отчётов и научных публикаций; владеть статистическими методами обработки экспериментальных данных для анализа технологических процессов при производстве продуктов питания и биотехнологических производств.

Предназначено для студентов направлений 260100.62 «Продукты питания из растительного сырья» и 240700.62 «Биотехнология».

УДК 62:001.8  
ББК Ж.у(2)4я73-2

ISBN 978-5-8265-1268-5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО ТГТУ), 2014

## ВВЕДЕНИЕ

---

Состояние экономики государства определяется в первую очередь научно-техническим уровнем производства. Самым точным и обобщающим показателем научно-технического уровня производства является качество продукции. Решение задачи повышения качества продукции напрямую связано с повышением качества инженерного труда, являющегося основным определяющим фактором научно-технического прогресса.

Экономическое положение нашей страны на фоне экономически развитых государств мира требует принятия кардинальных мер по ускорению научно-технического прогресса. Это обстоятельство обязывает коренным образом изменить ситуацию, сложившуюся в нашей стране в сфере трудовой деятельности инженерно-технических и научных работников, а именно усилить творческие начала в их труде и повысить общественное его признание. Инженерный труд по своей природе является умственным и его непосредственный результат – это, как правило, не промышленная, а научно-техническая продукция (информация), эффект от использования которой реализуется лишь спустя некоторое время.

Проблема повышения эффективности инженерного труда должна решаться в двух основных направлениях. Первое направление – преобразование социально-экономических отношений с целью устранения тех из них, которые тормозят развитие творчества инженерных работников. Второе направление – повышение квалификации инженеров путём повышения качества обучения в вузах в направлении развития потенциала творческой инженерной деятельности молодых специалистов.

Основной недостаток в подготовке специалистов инженерных специальностей заключается в неподготовленности их к творческой инженерной деятельности. Этот недостаток выпускников обнаруживается в первую очередь в неумении ставить новые задачи в соответствии с современными требованиями развития науки, техники и технологии и неумении

решать задачи поиска новых технических решений, обеспечивающих достижение мирового уровня показателей качества продукции, интенсификации производства и экономии материальных и энергетических ресурсов. Во многом это связано с тем, что учебный процесс построен в основном на решении тривиальных теоретических и практических задач с готовой постановкой задачи и известными способами их решения, направленных нередко на получение известного результата. Особенно наглядно указанные свойства учебного процесса проявляются на стадии курсового и дипломного проектирования, когда проектные решения в большинстве случаев практически копируют известные базовые варианты. Решение таких задач, несмотря на их большую трудоёмкость, не требует глубокой творческой работы. В результате выпускник за время обучения накапливает богатый и в общем случае нужный опыт решения тривиальных задач но, как правило, оказывается неподготовленным к решению творческих инженерных задач, для которых нет готовой постановки задачи, известного способа решения и отсутствуют аналоги конечного результата.

Необходимость преодоления сложившегося положения с организацией обучения сформулирована в основных направлениях развития высшего и среднего специального образования в стране, которые предусматривают осуществить решительный поворот от массового, валового обучения к усилению индивидуального подхода, развитию творческих способностей будущих специалистов, подчинить процесс формирования инженерных кадров развитию у них навыков самостоятельного технического творчества, системного анализа технико-экономических проблем, умения находить эффективные решения.

С необходимостью преодоления отмеченных недостатков в организации обучения в вузе связано введение настоящей дисциплины, которая призвана во взаимосвязи с другими дисциплинами повысить творческий потенциал подготавливаемых специалистов.

Основную задачу дисциплины можно сформулировать как изучение методологии инженерного творчества:

- а) методов получения научной информации;
- б) психологии творчества, логики и морфологии технических решений;
- в) методики постановки и решения задач поиска новых технических решений;
- г) интенсивной технологии инженерного творчества.

Изучающим необходимо знать, что в отличие от других учебных дисциплин, дающих знания и навыки решения строго определённых инженерных задач, эта дисциплина призвана научить решению творческих задач, не имеющих постановки, метода решения, а результаты решения имеют соответственно реальное (не только учебное) практическое значение.

Время, в котором мы живём, совершенно справедливо называют веком НТР. НТР – это ситуация, в которой наука и техника взаимосвязано получают глубокие преобразования, а технический прогресс осуществляется при ведущем значении науки, прокладывающей новые пути технике.

Понятие «наука» в самом общем смысле означает специфическую область человеческой деятельности. Это понятие включает в себя процессы познания и преобразования объективного мира, поиска объективной истины, подлинной связи между предметами и явлениями, точных закономерностей развития природы, общества и мышления. Определяют понятие «наука» и как орудие высшей ориентировки человека в окружающем мире и в самом себе.

Как заметил английский учёный-научковед Дж. Бернал, за последние пятьдесят лет научное исследование превратилось из роскоши в необходимое условие существования. Теперь уже не только прогресс, но и само содержание жизни становится невозможным без постоянного и всё ускоряющегося развития науки. Общественная роль современной науки проявляется в том, что применение научных достижений позволяет в развитых странах получить до 75% прироста национального дохода.

Для начинающих исследователей весьма важно знать не только о роли науки в обществе, но и об основных тенденциях развития современной науки, а именно:

- 1) дифференциация и интеграция наук;
- 2) усиление контактов и взаимосвязей наук;
- 3) математизация наук;
- 4) улучшение взаимосвязей между наукой и производством;
- 5) ускоренное развитие естественных наук в соответствии с законом, открытым ещё Ф. Энгельсом;
- 6) возникновение науки о самой науке – науковедении.

В век НТР значительно возросла потребность в научных профессионально подготовленных кадрах, и соответственно возникла необходимость разностороннего и умелого выявления и отбора из молодёжи наиболее талантливых и способных к науке людей. По меткому выражению академика Хохлова «...интенсивность обучения различна в различные периоды жизни различных специалистов. Для учёных график функции «век живи – век учись» имеет всегда один большой пик и приходится он на студенческие годы – это самое лучшее время жизни для того, чтобы учиться, время познания». «Молодость – возраст познания» [17]. Как показывает опыт МГУ, чрезвычайно важно в этот период заложить прочную базу общих фундаментальных знаний и освоить методы научного познания и творчества. Вследствие такой фундаментальной подготовки молодой специалист становится саморазвивающимся объектом, что чрезвычайно важно в период быстрого обновления информации, характерный для НТР.

Молодёжь приходит в науку разными путями. Но какими бы путями не вступал молодой специалист на тропу науки, он обычно стремится наиболее полно овладеть научными методами и навыками творческой работы.

Подготовка молодых учёных – сложное дело, особенно для новых развивающихся отраслей. Одни учёные рекомендуют использовать для этих целей проверенные надёжные способы индивидуального обучения под руководством опытных деятелей науки, другие выступают за создание специальных школ для одарённых молодых людей. Некоторые воспитатели научной молодёжи высказывают мнение, что подготовку специалистов к самостоятельной творческой работе следует начинать после завершения вузовского образования и получения ими некоторого опыта в избранной специальности.

Жизнь же подтверждает правильность и необходимость более раннего начала творческой научной работы молодёжи. Раннее начало научных исследований, систематизация научных фактов на студенческой а иногда и на школьной скамье повышают глубину и качество овладения учебной программой.

Эффективность творческой деятельности обуславливается многими факторами, такими как:

- 1) удовлетворённость от самого процесса поиска и решения задач (органическая потребность в творчестве);
- 2) моральные мотивы – желание внести личный вклад в народное хозяйство страны;
- 3) престижные (честолюбивые) мотивы – желание утвердить себя как личность, увеличить число научных трудов;
- 4) материальные мотивы – получить авторское вознаграждение или повысить в перспективе зарплату.

Для стимулирования творческой деятельности студентов могут быть учтены в большей или меньшей мере все факторы. В учебном пособии представлен материал, изучение которого позволит сформировать у студентов предусмотренные стандартом **компетенции** и выработать у них следующие знания, умения и опыт: уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь, способность изучать и анализировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования; быть готовым проводить измерения и наблюдения, составлять описания проводимых исследований, анализировать результаты исследований и использовать их при написании отчётов и научных публикаций; владеть статистическими методами обработки экспериментальных данных для анализа технологических процессов при производстве продуктов питания и биотехнологических производств.

# 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ И ОСУЩЕСТВЛЕНИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

---

Научное исследование – это есть изучение закономерностей развития явлений объективного мира и их объяснение.

Понятие научного исследования не следует путать с понятием испытания.

Под испытанием понимается экспериментальная проверка каких-либо установленных ранее свойств или качеств объекта (эти свойства могут быть установлены, например, ГОСТ, ТУ, нормами и т.д.). Например, испытанием является проверка того, показывает ли сушильный аппарат при сушке определённого вида продукта установленную производительность и соответствует ли при этом технико-экономические показатели его работы паспортным характеристикам при соблюдении технических условий на эксплуатацию.

Однако если ставится задача определения способов производительности сушильного аппарата и повышения технико-экономических показателей его работы, то это уже является предметом научного исследования.

Исследования могут быть теоретическими и экспериментальными.

Теоретическое исследование обладает свойствами всеобщности, не требует больших затрат труда и средств, его результаты действительны в течение длительного промежутка времени.

Правильность теоретического исследования зависит от правильности предпосылок и допущений, положенных в основу исследований.

Изучаемые явления настолько многообразны и сложны, что порой невозможно получить точное теоретическое решение.

Теория должна соответствовать практике. Очень часто только эксперимент (научно поставленный опыт) является единственным надёжным способом решения поставленной задачи.

Роль экспериментальных исследований в развитии науки огромна. Они дают исходные данные для дальнейшего развития предшествующей теории или построения новой, позволяют проанализировать правильность теоретических выводов.

В большинстве случаев нельзя отделять друг от друга теоретические и экспериментальные исследования, так как почти всегда они связаны между собой.

Исследование, состоящее из теоретической и экспериментальной частей, называется комплексным.

По формам организации исследования разделяют на лабораторные, полевые, лабораторно-полевые, полупромышленные, промышленные.

Научными исследованиями в нашей стране занимаются научно-исследовательские, проектно-конструкторские, технологические институты. НИИ могут быть академическими (входят в систему организаций академии наук), которые занимаются фундаментальными исследованиями, и ведомственными (подчинены соответствующим министерствам, ведомствам), которые занимаются исследованиями прикладного характера, направленными на повышение количества и качества производимой продукции, путём внедрения новой техники, технологии.

Большое значение имеют в государственном масштабе научные исследования, проводимые силами преподавателей, сотрудников и студентов вузов.

В вузах существуют две формы финансирования научно-исследовательских работ:

1. Госбюджетная (г/б) работа – за счёт средств государства, отпускаемых университету на конкурсной основе – гранты и научно-технические программы, выполняются в период рабочего дня, продолжительность которого установлена законодательством.

2. Хоздоговорные (х/д) работы – выполняются на основе двухсторонних хозрасчётных договоров между вузом и предприятием за счёт средств предприятия.

## 1.1. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В начале любого исследования надо определить цель и выбрать предмет исследования. Выбор цели и предмета исследования должен соответствовать выполнению государственных планов, научно-технических программ, планов предприятий и т.д.

Определив цель и предмет исследования, исследователь должен достаточно полно изучить накопленные до него материалы по изучаемому вопросу и проанализировать их критически.

Этот этап обычно называют «составление литературного обзора и проведение патентного поиска». На этом этапе должны быть исключены ошибочные предположения и повторные трудозатраты на достижение уже полученных результатов другими исследователями.



Составление рабочей гипотезы исследования (предположения о вероятном развитии явления). На этапе устраняются случайные решения, определяется направление исследования и его границы.

*Разработка методики и плана исследования.* На этом этапе пользуются методами материалистической диалектики. Большое значение при этом имеет интуиция исследователя – интеллектуальная способность к чрезвычайно ускоренному процессу логического мышления. Часто интуитивно найденное решение кажется мгновенным, внезапным не только постороннему, но и самому исследователю.

На следующем этапе осуществляется *подготовка и проведение экспериментальных исследований*. При этом чрезвычайно важно учитывать все обстоятельства получения измерительной информации, которые могут существенно повлиять на результат измерения. Очевидно, что адекватный учёт названных обстоятельств становится возможным при достаточно высокой теоретической подготовке экспериментатора и его эрудиции.

Далее следует этап *обработки и анализа экспериментальных данных*, по результатам которого делаются выводы и, при необходимости, уточняется рабочая гипотеза. Уточнение гипотезы может стать причиной корректировки ранее разработанного плана исследования и повторное проведение эксперимента.

## 2. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

Целью научного исследования является установление объективных закономерностей материального мира и выражение их в количественной форме. Поэтому проведение экспериментального исследования подразумевает получение количественной информации, т.е. проведение измерений. «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять». – Эти слова Д. И. Менделеева предельно точно характеризуют значение измерительной информации в научном исследовании.

О значимости измерительной информации свидетельствует тот факт, что перед началом НИР и после её завершения в настоящее время оформляются акты её метрологической проработки.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

### 2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ ТЕОРИИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Измерение – это определение значения физической величины опытным путём при помощи специальных технических средств.

Однако задача измерения на практике несколько шире той, которая даётся формулировкой измерения, и включает не только определение числа, выражающего отношение измеряемой величины к общепринятой единице измерения, но также и определение при этом допущенной погрешности.

Полученный результат измерения имеет ценность только в том случае, если известна оценка погрешности этого результата и достоверная вероятность этой оценки погрешности.

Различают абсолютную и относительную погрешности.

Абсолютная погрешность – это разность между измеренным и истинным значением физической величины. Поскольку «истинное» значение величины установить невозможно, в метрологии пользуются так как называемым «действительным» значением, полученным с помощью образцового прибора.

Более полное представление о неточности измерения даёт значение относительной погрешности  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{X_{и} - X_{д}}{X_{д}} = \frac{\Delta X}{X_{д}},$$

где  $X_{и}$  – измеренное значение физической величины;  $X_{д}$  – действительное значение физической величины;  $\Delta X = X_{и} - X_{д}$  – абсолютная погрешность.

Обычно  $\Delta X \leq X_{и}, X_{д}$ , т.е.  $X_{и} \approx X_{д}$ . Поэтому  $\gamma = \frac{\Delta X}{X_{д}} \approx \frac{\Delta X}{X_{и}}$ , т.е.

при вычислении относительной погрешности абсолютную погрешность можно относить к измеренному значению физической величины.

Абсолютная и относительная погрешности характеризуют измерительное средство (прибор) только при одном его показании. Полностью оценить качество прибора можно по его приведённой погрешности:

$\gamma = \frac{\Delta X}{X_{н}}$ , где  $X_{н}$  – нормирующее значение – условно принятое значение,

которое может быть равно верхнему пределу или диапазону шкалы и т.д.

По приведённой погрешности указывается класс точности прибора, который в большинстве случаев численно равен  $\gamma_0$  – допустимому значению приведённой погрешности в нормальных условиях работы.

Ранее под классом точности прибора понимали отношение абсолютной погрешности  $X$  к диапазону  $N$  шкалы прибора:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta X}{N}.$$

В настоящее время в употреблении два вида оценки класса точности приборов:

- 1) по абсолютным погрешностям (номера классов точности);
- 2) по относительным погрешностям (в этом случае класс точности – это отношение максимально возможной абсолютной погрешности  $X$  к конечному значению рабочей части шкалы  $\gamma_0 = \frac{\Delta X}{X_{\max}}$ ).

Класс точности приборов обозначается на их шкале. Для определения соответствия прибора его классу точности, его периодически подвергают поверке. При поверке прибора определяют максимальное значение приведённой погрешности и вариацию показаний  $\varepsilon = \frac{\delta x}{X}$ , где  $\delta x$  – максимальная разность между показаниями прибора при прямом и обратном ходе;  $X$  – нормирующее значение.

Вариация прибора выражается в процентах к нормирующему значению и должна быть меньше его приведённой погрешности (класса точности).

## 2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Возникающие при измерениях погрешности могут быть классифицированы в зависимости от причины их возникновения и характера проявления.

В зависимости от причин возникновения различают погрешности:

- 1) методические;
- 2) инструментальные;
- 3) субъективные.

Первые два вида погрешностей – объективные погрешности.

Методические погрешности являются следствием неточности метода измерения, недостаточным знанием всех обстоятельств измерений при изготовлении прибора. На готовом приборе устранить эти погрешности, как правило, невозможно.

Инструментальные погрешности являются следствием недостатков конструкции измерительного прибора (несоблюдением технологии изготовления, трением в кинематических парах, остаточными деформациями и т.п.). Эти погрешности могут быть частично устранены регулировкой прибора.

Чтобы быть уверенным, что инструментальные погрешности находятся в допустимых пределах, приборы подвергают поверке.

Субъективные погрешности зависят от индивидуальных способностей лиц, производящих измерения (ошибки считывания, ошибки параллакса и т.п.).

В зависимости от характера проявления погрешности принято разделять на:

- 1) систематические;
- 2) случайные;
- 3) грубые (промахи).

Систематическая погрешность – составляющая погрешности, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. Систематические погрешности складываются из инструментальных и методических.

Теоретически систематические погрешности могут быть учтены, однако в большинстве случаев это сделать затруднительно.

Случайными называются погрешности, не подчиняющиеся какой-либо известной закономерности. Они возникают в результате влияния случайных факторов (вибрации, внешние поля, климатические явления и т.п.). Эти погрешности не могут быть учтены ни расчётным, ни опытным путём и могут быть оценены только вероятностными методами.

Грубыми (промахами) называются погрешности, которые явно искажают результат измерения (возникают, например, из-за ошибки в записи, отчёта по соседней шкале, неправильного включения прибора и т.п.).

Статистические методы позволяют обнаружить промахи и исключить их из дальнейшего рассмотрения.

Правила получения универсальной измерительной информации регулируются системой метрологического надзора.

Метрологическая проверка средств измерения осуществляется в соответствии со следующими правилами:

1. Проверка осуществляется с использованием образцового (эталонного) прибора, класс точности которого в 4–5 раз выше класса точности поверяемого прибора.

2. Проверку проводят по всем оцифрованным отметкам испытуемого прибора при прямом и обратном ходе измерения.

3. Для каждого измерения определяют приведённую погрешность и вариацию.

4. Из полученных значений вариаций и приведённых погрешностей при прямом и обратном ходе находят максимальное из всех значений и сравнивают его с классом точности прибора, подвергнутого проверке. Если полученное значение меньше класса точности, то прибор пригоден к эксплуатации.

Системой метрологического надзора называют комплекс положений, требований и правил технического, экономического, правового характера, касающихся организации метрологического надзора, метрологической ревизии, метрологической экспертизы. Целью системы является следующее:

- 1) обеспечение единства и достоверности средств измерения;
- 2) обеспечение постоянной готовности средств измерения;
- 3) помощь совершенствованию измерительной техники;
- 4) повышение эффективности технических и научных работ.

Система метрологического надзора обеспечивается вследствие функционирования соответствующих государственных органов, возглавляемых Комитетом метрологического надзора, Госстандартом. Комитету подчинены НИИ Госстандарта, метрологические службы субъектов федерации, отраслевые и ведомственные метрологические службы и службы главного метролога на предприятиях.

### 2.3. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ОЦЕНКИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ

Абсолютная и относительная погрешность характеризует единичное измерение. С целью уменьшения случайной погрешности измерение проводят многократно и используют вероятностно-статистические оценки погрешности.

При измерении любой величины  $X$ , истинное значение которой  $X_0$ , теоретически можно получить бесконечно большой набор измеренных значений  $X_1, X_2, \dots, X_N, \dots$ . Этот набор называют генеральной совокупностью.

Обозначим абсолютную погрешность каждого измерения  $\Delta X_i = X_i - X_0$ . Если среднее арифметическое значение  $\Delta X_i$  для генеральной совокупности равно 0, т.е.  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n} = 0$ , то такие погрешности называют случайными.

Вероятность их появления тем больше, чем меньше их значение  $|\Delta x_i|$ . Кроме того, при этом существует равная вероятность появления отрицательных и положительных значений погрешности.

В большинстве случаев плотность вероятности появления случайной погрешности подчиняется нормальному закону распределения (закону Гаусса):

$$P(\Delta X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta X^2}{2\sigma^2}},$$

где  $P(\Delta X)$  – плотность вероятности появления случайной погрешности  $\Delta X$ ;  $\sigma^2$  – дисперсия. Графическая иллюстрация этого распределения представлена на рис. 1.

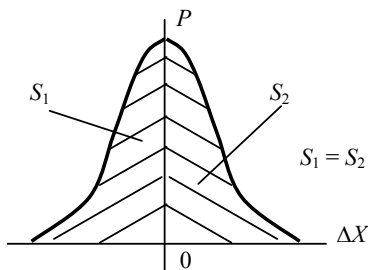
Для генеральной совокупности среднее арифметическое  $\bar{X}$  (математическое ожидание) равно истинному значению  $X_0$  измеряемой величины  $X$ :

$$\bar{X} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = X_0.$$

Степень рассеяния измеренных значений  $X_i$  вблизи  $X_0$  характеризуется дисперсией  $D(X)$ :

$$D(X) = \sigma_X^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1},$$

где  $\sigma_X$  – среднее квадратичное отклонение;  $n - 1$  – число степеней свободы.



**Рис. 1. Плотность вероятности распределения случайной величины в соответствии с нормальным законом**

## 2.4. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На практике приходится иметь дело не с генеральной совокупностью, а с конечной выборкой  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Для определения оценок  $\bar{X}, D(X)$  пользуются соответственно:

1) среднеарифметическим значением выборки

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n};$$

2) дисперсией выборки  $D(X) = \sigma_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$ ;

3) дисперсией среднего арифметического значения выборки

$$D(\bar{X}) = \sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)};$$

4) среднеквадратичным значением выборки

$$\sigma_x = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Может оказаться, что некоторые значения  $X_3$  из выборки будут представляться слишком большими или слишком маленькими по сравнению с другими измерениями. В этом случае необходимо проверить, не являются ли эти  $X_3$  промахами. Чтобы ответить на вопрос можно ли эти значения учитывать при расчётах  $\bar{X}$ ,  $\sigma_X$ , необходимо для каждого  $X_3$  рассчитать

$$r = \frac{(X_3 - \bar{X})}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}$$

и сравнить полученные значения с табличными значениями  $\xi_2$  ( $t$ -критерия Стьюдента), табл. 1. Табличное значение критерия Стьюдента определяется в зависимости от числа степеней свободы  $(n - 1)$  для выбранной доверительной вероятности  $\alpha$ . Доверительная вероятность определяет степень достоверности прогнозируемого результата и задаётся до начала операции прогнозирования.

### 1. Значения параметра $\xi_2$ ( $t$ -критерия Стьюдента) для $\alpha = 0,95$

$n$	$\xi_2$	$n$	$\xi_2$	$n$	$\xi_2$
3	4,30	7	2,45	15	2,15
4	3,18	8	2,37	20	2,09
5	2,78	9	2,31	50	2,01
6	2,57	10	2,26	100	1,96

Если  $r > \xi_2$ , то  $X_0$  необходимо исключить из дальнейшего рассмотрения. После этого необходимо пересчитать значения  $\bar{X}$  и  $D(X)$ .

Понятно, что конечный размер выборки не позволяет считать, что  $X_0 = \bar{X}$ . Можно лишь утверждать, что с некоторой с заранее заданной (доверительной) вероятностью величина  $|X_0 - \bar{X}| < \delta\bar{X}$ , где  $\delta\bar{X}$  характеризует точность оценки  $\bar{X}$ . Интервал  $(\bar{X} - \delta\bar{X}, \bar{X} + \delta\bar{X})$ , равный  $2\delta\bar{X}$ , называется доверительным интервалом. При расчётах оценок погрешностей доверительная вероятность должна быть задана (выбрана) заранее.

Опыт измерений в технике показывает, что при оценке их точности вполне достаточна доверительная вероятность  $\alpha$ , равная 0,95. Поэтому в дальнейшем будем считать, что  $\alpha = 0,95$  (т.е. 95% результатов измерений должны укладываться в доверительный интервал). Иногда для оценки достоверности результатов вероятностно-статистических прогнозов используют показатель, называемый уровнем значимости. Уровень значимости  $p$  показывает, какая доля выборки статистически значимо влияет на прогнозируемый результат. С другой стороны, уровень значимости указывает вероятность того, что реальный результат может не соответствовать результатам прогнозирования. Уровень значимости определяется как  $p = 1 - \alpha$ .

В этом случае предельные погрешности отдельного измерения  $\delta_X$  и предельная погрешность среднеарифметического значения  $\delta_{\bar{X}}$  определяются по формулам

$$\delta_X = \xi_2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}; \quad \delta_{\bar{X}} = \xi_2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}.$$

## 2.5. НЕОБХОДИМОЕ ЧИСЛО ИЗМЕРЕНИЙ

В соответствии с приведёнными выражениями для расчёта доверительного интервала можно прийти к выводу, что случайные погрешности результатов многократных измерений оцениваются зависимостью (для среднего арифметического значения):

$$\delta_{\bar{X}} = \xi_2 \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}}.$$

Отсюда следует, что для увеличения точности можно использовать два пути:

- 1) уменьшать  $\sigma_X$ , что можно обеспечить путём использования более точного прибора;
- 2) увеличить число измерений  $n$ .



Допустим, что использовать более точный прибор невозможно. В таком случае возникает вопрос – сколько измерений необходимо, чтобы при заданной доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  доверительный интервал  $\delta_X$  был существенно меньше систематической погрешности  $\delta$ , т.е. при заданной (требуется найти такое  $n$ , чтобы  $\delta_X \ll \delta$ . Обычно требуется, чтобы  $\frac{\delta_{\bar{X}}}{\delta} \approx \frac{1}{2} \dots \frac{1}{3}$ .

Зависимость числа необходимых измерений  $n$  достижения величины случайной ошибки, равной  $\frac{\delta_{\bar{X}}}{\sigma_X^2}$ , при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  можно представить в табличной форме:

$\varepsilon$	1,0	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$n$	7	18	27	46	100	390

**Пример.** Допустим, что  $\delta = 0,5\sigma_X^2$ . Надо обеспечить  $\frac{\delta_X}{\delta} \approx 0,6$ . Тогда

$$\delta_X = 0,6\delta; \sigma_X^2 = 2\delta; \frac{\delta_X}{\sigma_X^2} = \frac{0,6\delta}{2\delta} = 0,3; \text{ при } \alpha = 0,95 \text{ получим } n = 46.$$

## 2.6. ОШИБКИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В большинстве случаев измеряется интересующая нас величина не непосредственно, а косвенно, путём измерения одной или нескольких величин, от которой зависит искомая величина. Например, при измерении площади прямоугольника приходится измерять его длину  $a$  и ширину  $b$ , а площадь вычисляют по формуле  $F = ab$ .

При таких измерениях, называемых косвенными, существуют свои правила в определении ошибок.

Общие правила вычисления ошибок косвенных измерений выводятся с помощью дифференциального исчисления.

Пусть результат  $Y$  косвенных измерений зависит от результатов прямых измерений  $X_1, X_2, \dots, X_n$  следующим образом:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (2.1)$$

Пусть относительные погрешности физических величин  $X_1, X_2, \dots, X_n$  известны и соответственно равны  $\frac{\Delta X_1}{X_1}, \frac{\Delta X_2}{X_2}, \dots, \frac{\Delta X_n}{X_n}$ . Тогда погрешность

$\frac{\Delta Y}{Y}$  измерения физической величины  $Y$  можно найти следующим образом.

1. Прологарифмируем уравнение (2.1):

$$\ln Y = \ln[F(X_1, X_2, \dots, X_n)]. \quad (2.2)$$

2. Вычислим полные дифференциалы правой и левой части уравнения (2.2):

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial Y} dY = \frac{\partial \ln F}{\partial X_1} dX_1 + \frac{\partial \ln F}{\partial X_2} dX_2 + \dots + \frac{\partial \ln F}{\partial X_n} dX_n$$

или

$$\frac{dY}{Y} = \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial X_1} dX_1 + \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial X_2} dX_2 + \dots + \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial X_n} dX_n;$$

$$\frac{dY}{Y} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial X_i} dX_i. \quad (2.3)$$

Заменяв дифференциалы конечными разностями, получим

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i. \quad (2.4)$$

Если умножить обе части уравнения (2.4) на исходный функционал  $Y = F(X_1, \dots, X_n)$ , то получим выражение для определения абсолютной погрешности косвенной величины:

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial X_i} \Delta X_i.$$

Расчёт по приведённым формулам даёт завышенный результат погрешностей, поскольку последние определяются путём суммирования погрешностей определения прямо измеряемых величин (без учёта их знака). Реальные погрешности прямых измерений накладываются друг на друга и в некоторой степени взаимно компенсируются. Из теории погрешностей известно, что более объективной оценкой результатов измерений является использование среднеквадратичной погрешности

$$\Delta Y = \sqrt{\sum_i^n \left( \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}.$$

Кроме того, установлено, что приведённая зависимость определения абсолютной погрешности косвенного измерения не изменяет своего вида, если вместо  $\Delta Y$  использовать  $\sigma_Y$ , а вместо  $\Delta X_i$  использовать  $\sigma_{X_i}$ :

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2}.$$

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

---

В 20-е годы XX века английский статистик Рональд Фишер впервые предложил проводить эксперимент, варьируя одновременно всеми параметрами сразу, в отличие от классического однофакторного эксперимента, в котором все параметры, определяющие состояние объекта, за исключением одного, фиксируются на определённом уровне, и в опытах изменяется только варьируемый параметр. Это событие принято считать началом использования математического планирования эксперимента.

Математическое планирование эксперимента имеет своей целью повышение эффективности экспериментальных исследований, которая, по данным Дж. Бернала, составляет всего около 2%.

В 50-х годах американские учёные Бокс и Уилсон развивают новое направление планирования эксперимента – ортогональное планирование оптимального эксперимента. Сущность предложенного ими метода заключается в следующем. На первом этапе для некоторой локальной области существования изучаемого объекта методом планирования эксперимента определяются закономерности его поведения и в результате их анализа определяется направление к оптимуму, в котором следует изменять параметры. Далее проводят очередной эксперимент в новой области существования объекта и так далее до тех пор, пока не будут достигнуты оптимальные условия.

#### 3.1. МЕТОД ОРТОГОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА БОКСА–УИЛСОНА

Математическое планирование эксперимента – это формализованная процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения задачи с требуемой точностью. Эта процедура позволяет:

- 1) минимизировать число опытов;
- 2) изменять параметры, влияющие на состояние объекта по определённому закону;
- 3) использовать математический аппарат, формализующий действия экспериментатора при обработке данных и получить математическую модель объекта исследований;
- 4) использовать логический аппарат при принятии решений на основе анализа полученной модели.

Все задачи, решаемые методом математического планирования, можно разделить на два класса:

1) задачи интерполяции, имеющие своей целью описать объект в некоторой области его существования;

2) задачи оптимизации, которые имеют своей целью определение оптимальных условий существования объекта без учёта влияния каждого фактора в отдельности.

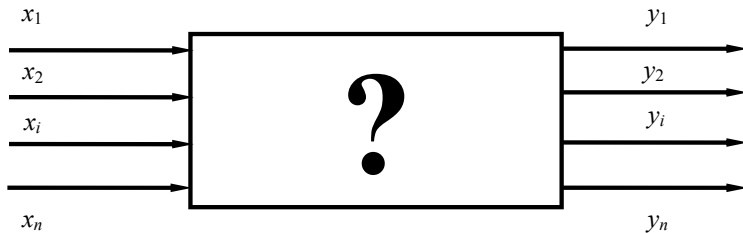
Нередки случаи, когда задачи интерполяции и оптимизации встречаются в комплексе, например при разработке систем автоматического регулирования нужно знать и оптимальные условия и степень влияния всех факторов, от которых зависит это состояние.

Важно понимать, что математическое планирование эксперимента не является универсальным средством, применение которого является оправданным для решения любого рода задач. Например, сомнительна целесообразность использования этого метода для исследования объектов с малым числом физических параметров, влияющих на его состояние при наличии детерминированного математического описания объекта.

Однако, математическое планирование эксперимента целесообразно использовать для исследования сложных многопараметрических задач (объектов), для которых отсутствует детерминированное математическое описание и мало изучена физико-химические закономерности процесса, т.е. для «объектов в себе», объектов, близких по своим свойствам к «чёрному ящику».

### 3.2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для представления о свойствах объекта, который целесообразно исследовать методом математического планирования, рационально использовать понятие о кибернетической системе «чёрный ящик», являющийся классическим «объектом в себе» (рис. 2).



**Рис. 2. Кибернетическая система «чёрный ящик»:**

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – факторы, которые воздействуют на объект (входы «чёрного ящика»);  
 $y_1, y_2, \dots, y_n$  – отклик «чёрного ящика» на соответствующее возмущение

Исследователь не имеет представления о процессах, происходящих внутри «чёрного ящика» и, более того, сознательно отказывается от исследований детерминированных закономерностей существования объекта. Единственной информацией, которую можно получить от объекта, является отклик  $y_j$ , получаемый после возмущений  $x_j$ , которые оказывают на него. Отклик  $y_j$  – это параметр, который характеризует объект в интересующем исследователя аспекте. Это параметр также носит название целевой функции или параметра оптимизации.

В общем случае существует бесконечное множество состояний «чёрного ящика», каждое из которых характеризуется соответствующим набором факторов  $x_j$ . В общем случае определить число возможных состояний объекта можно с использованием функции

$$N = p^k,$$

где  $p$  – число уровней, на которых может варьироваться каждый из факторов;  $k$  – общее число факторов.

Таким образом,  $N$  – это число опытов, которые нужно провести, чтобы исследовать поведение объекта в некоторой области его существования. Например, чтобы исследовать объект, который изменяется под воздействием 10 факторов ( $k = 10$ ), причём каждый фактор принимает четыре значения ( $p = 4$ ), то при использовании однофакторного эксперимента потребуется  $N = 4^{10} > 1\,000\,000$  опытов. Очевидно, что все возможные состояния перебрать невозможно, поэтому и используются методы математического планирования (ортогональное планирование, симплексное планирование и т.п.).

Объект исследования при математическом планировании эксперимента должен соответствовать определённым требованиям.

1. Объект исследования должен быть воспроизводимым (требование однозначности). Для проверки этого условия выбирают произвольно некоторые значения факторов и определяют соответствующее значение целевой функции. По истечении достаточно большого промежутка времени вновь задают те же значения факторов и заново оценивают величину целевой функции. Если расхождение при этом не превышает некоторой заданной величины, то условие однозначности выполняется.

2. Объект исследования должен быть управляемым. Это означает, что объект может быть приведён в любое из возможных состояний в области его существования и поддерживается в этом состоянии сколь угодно долго, т.е. каждый из факторов может быть выбран на любом уровне и зафиксирован на этом уровне достаточно длительное время.

### 3.3. ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ (ПАРАМЕТР ОПТИМИЗАЦИИ)

В качестве целевой функции принимают тот параметр, который наиболее универсально характеризует объект и является обобщённой характеристикой цели исследования. Одним из основных требований, предъявляемых к параметру оптимизации, является универсальность и полнота характеристики, определяемой этим параметром. Кроме того, параметр оптимизации должен выражаться в численном виде и быть статистически однозначным, т.е. определённой совокупности значений факторов соответствует единственный параметр оптимизации. Обратное утверждение не имеет смысла, поскольку одному значению параметра оптимизации может соответствовать множество сочетаний значений факторов. Если параметр оптимизации невозможно измерить по причине отсутствия технических средств, то используют принцип ранжирования. В соответствии с этим принципом целевой функции присваивают ранги (баллы), используя специальную шкалу баллов.

Желательно, чтобы параметр оптимизации имел строгий физический смысл и был прост в определении.

### 3.4. ФАКТОРЫ

Факторами называют параметры, с помощью которых можно воздействовать на состояние объекта. Они обладают следующими основными свойствами:

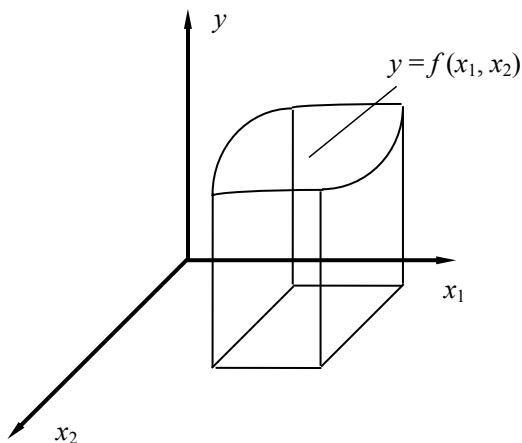
- 1) факторы должны быть измеряемыми и управляемыми, т.е. должна иметься возможность установить фактор на определённом уровне и измерить его с достаточной степенью точности;
- 2) факторы должны иметь непосредственное однозначное воздействие на объект.

Кроме указанных, существуют требования, предъявляемые к совокупности факторов, определяющих объект исследования:

- 1) факторы должны быть совместимы, т.е. должна иметь место техническая возможность устанавливать любые значения каждого из факторов вне зависимости от других (кроме того, при этом должно соблюдаться условие безопасности эксперимента);
- 2) факторы должны быть независимы, т.е. изменение величины одного фактора не должно быть причиной изменения другого.

### 3.5. ФУНКЦИЯ ОТКЛИКА

При изменении значений факторов изменяется величина целевой функции. Уравнение, связывающее целевую функцию с факторами, называется функцией отклика  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .



**Рис. 3. Поверхность отклика для двухфакторной задачи**

Функция отклика, описывающая поведение объекта и взаимосвязь между целевой функцией и факторами в некотором диапазоне их изменения, называется интерполяционной моделью.

Геометрическая интерпретация функции отклика называется поверхностью отклика. Такая поверхность имеет место в случае двухфакторной задачи (рис. 3). Во всех остальных случаях под поверхностью отклика понимается некая гиперповерхность, т.е. гипотетическая многомерная поверхность, дать графическую иллюстрацию которой не представляется возможным вследствие отсутствия соответствующих навыков.

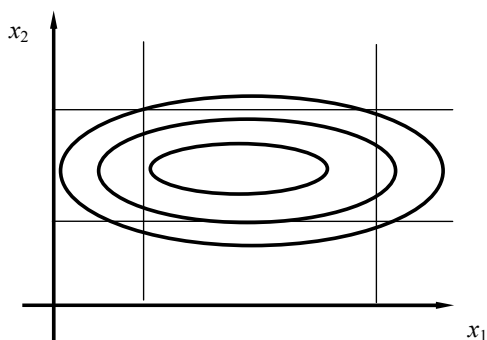
Для описания поверхности отклика может быть применена та или иная математическая зависимость. Такая зависимость, используемая для решения задач по методу планирования эксперимента (т.е. задач интерполяции и оптимизации), должна отвечать следующим требованиям:

- 1) достаточно точно описывать объект (поверхность отклика);
- 2) должна указывать направление движения к оптимуму.

Решить экспериментальную задачу можно несколькими методами.

Решение задачи может быть достигнуто путём перебора в экспериментах всех возможных состояний (совокупности факторов). Также можно решить задачу путём случайного перебора возможных сочетаний значений всех факторов. И наконец, можно использовать некую программу поиска решения задачи.

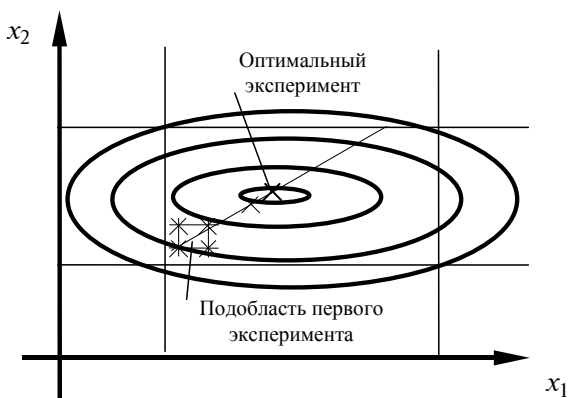
Изображение поверхности отклика для двухфакторной задачи можно представить в виде линий равных откликов. Они получаются как проекции горизонтальных сечений поверхности отклика  $y = \text{const}$  на горизонтальную плоскость  $x_1Ox_2$  (рис. 4).



**Рис. 4. Линии равных откликов**

Для определённого вида объектов (поверхностей отклика) может быть рекомендована научная программа поиска оптимума, которая носит название шагового принципа. Сущность этого принципа заключается в следующем. Проводится эксперимент в некоторой малой подобласти существования объекта. По результатам эксперимента определяется направление движения к оптимуму и делается «шаг» или несколько «шагов» в этом направлении. Проводится эксперимент в новых условиях, анализируются его результаты, уточняется направление нового шага (шагов) и т.д.

Шаговый принцип (рис. 5) позволяет осуществить движение к оптимальному эксперименту при наименьшем числе опытов. Этот принцип может быть использован не для всех задач. Объект, который может быть исследован по методу шагового принципа, должен отвечать следующим требованиям: поверхность отклика для этого случая должна быть гладкой, непрерывной, иметь в области эксперимента только один оптимум.



**Рис. 5. Шаговый принцип поиска оптимального эксперимента**



При выборе модели объекта выбирается вид математической зависимости, с помощью которой описывается функция (поверхность) отклика. Из математического анализа известно, что в окрестности любой точки аналитическая функция может быть разложена в степенной ряд, причём если сузить подобласть эксперимента, то поверхность отклика может быть описана не полным степенным рядом, а его отрезком – алгебраическим полиномом, причём, чем уже подобласть, тем ближе степень полинома к первой степени. Для случая двухфакторной задачи степенные полиномы записываются в следующем виде;

– полином 0 степени  $y = b_0 = \text{const}$  ;

– полином 1 степени  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$  ;

– полином 2 степени  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$  .

Чем выше кривизна и шире область определения факторов, тем требуется большая степень полинома. Чем выше степень полинома, тем больше требуется опытов для определения значений коэффициентов полинома. При достаточном сужении области эксперимента поверхность отклика можно описать линейной моделью. Такая модель отражает степень влияния факторов на целевую функцию и может быть использована для поиска оптимального эксперимента (оптимального значения целевой функции).

При недостаточной адекватности модели в виде полинома той или иной степени адекватность можно повысить либо путём увеличения степени полинома, либо за счёт сужения области эксперимента. Такие свойства целевой функции в виде полинома  $n$ -й степени свидетельствуют о целесообразности её использования при реализации метода математического планирования эксперимента. В соответствии с методом Бокса–Уилсона (ортогонального планирования) в качестве целевой функции используется неполный квадратный полином, т.е. полином второй степени, в котором коэффициенты при вторых степенях факторов равны нулю.

### 3.6. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПЕРЕД ПЛАНИРОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТА

Перед планированием выбирают подобласть первого эксперимента. В задачах интерполяции определяется область факторного пространства, для которой интересно знать поведение объекта ( $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ). Для задач оптимизации подобласть выбирается исходя из априорной информации.

Выбор подобласти включает в себя две процедуры:

- 1) выбор основного уровня;
- 2) выбор интервалов варьирования для каждого фактора.

Основной уровень является исходной точкой для построения плана эксперимента по каждому фактору. В задачах интерполяции основной уровень соответствует центру области факторного пространства. Интервал варьирования – это некоторое число, своё для каждого фактора, которое будучи прибавленным к основному уровню, даёт верхний уровень варьирования фактором, а будучи вычтенным из нулевого уровня, даёт нижний уровень варьирования.

Для удобства записи условий эксперимента, обработки результатов опыта, а также для сравнительного анализа степени влияния факторов на целевую функцию применяют процедуру кодирования факторов. Кодированное значение фактора определяется по формуле

$$x_j = \frac{\bar{x}_j - \bar{x}_j^0}{I_j};$$

где  $\bar{x}_j$  – натуральное значение фактора  $j$ ;  $\bar{x}_j^0$  – натуральное значение этого фактора на нулевом уровне;  $I_j$  – интервал варьирования фактором  $j$ .

При выборе основного уровня и интервалов варьирования нужно принимать во внимание следующие ограничения. Интервал варьирования не должен быть больше «расстояния» от основного уровня этого фактора до границы области его определения.

### 3.7. ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ТИПА « $2^k$ » (МЕТОД БОКСА–УИЛСОНА)

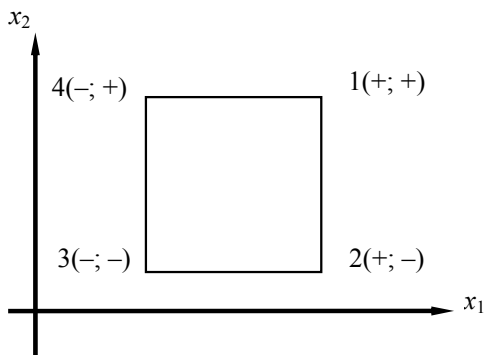
В соответствии с этим методом каждый фактор варьируется в эксперименте только на двух уровнях (верхнем и нижнем). Общее число опытов в эксперименте равно

$$N = 2^k,$$

где  $k$  – число факторов; 2 – число уровней варьирования.

Для удобства записи кодированные значения факторов, которые будут принимать величины «+1» и «-1», заменяются просто на «+» и «-». С целью удобства записи эксперимента и обработки экспериментальных данных используют матрицы планирования эксперимента. Они состоят из вектор-строк и вектор-столбцов. Каждая вектор-строка определяет условие проведения того или иного опыта. Вектор-столбец соответствует значениям какого-либо фактора. Условия двухфакторного эксперимента геометрически интерпретируются вершинами квадрата (рис. 6). Соответствующая матрица планирования будет иметь следующий вид:

№	$x_1$	$x_2$	$y$	
1	+	+	$y_{11}$	$y_{21}$
2	+	-	$y_{12}$	$y_{22}$
3	-	-	$y_{13}$	$y_{23}$
4	-	+	$y_{14}$	$y_{24}$



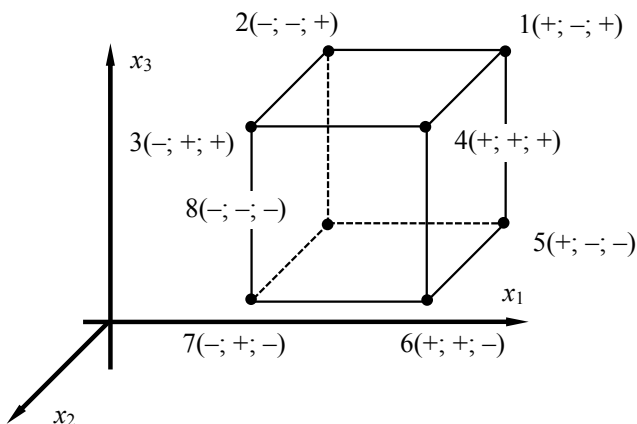
**Рис. 6. Графическая интерпретация двухфакторного эксперимента**

Чтобы провести оценку погрешности эксперимента и адекватности полученной модели объекта, необходимо провести параллельные опыты для проверки их на воспроизводимость.

Графической иллюстрацией условий проведения трёхфакторного эксперимента является куб (рис. 7).

Матрица планирования для трёхфакторного эксперимента может быть представлена в виде

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y$		
1	+	-	+	$y_{11}$	$y_{21}$	$y_{31}$
2	-	-	+	$y_{12}$	$y_{22}$	$y_{32}$
3	-	+	+	$y_{13}$	$y_{23}$	$y_{33}$
4	+	+	+	$y_{14}$	$y_{24}$	$y_{34}$
5	+	-	-	$y_{15}$	$y_{25}$	$y_{35}$
6	+	+	-	$y_{16}$	$y_{26}$	$y_{36}$
7	-	+	-	$y_{17}$	$y_{27}$	$y_{37}$
8	-	-	-	$y_{18}$	$y_{28}$	$y_{38}$



**Рис. 7. Графическая интерпретация трёхфакторного эксперимента**

Для случая четырёх и более факторов графической интерпретацией эксперимента является некий гиперкуб, для построения которого нам недостаёт навыков. В этом случае для построения матрицы рекомендуется пользоваться правилами построения матрицы планирования.

Основные правила построения матриц планирования эксперимента следующие:

1. *Способ достройки матрицы.* При добавлении нового фактора исходный план повторяется дважды: один раз с новым фактором на верхнем уровне, а второй раз – на нижнем.

2. *Правило перемножения столбцов.* При добавлении нового фактора его уровень определяется путём перемножения вектор-столбцов. Исходный план повторяется дважды: первый раз значение нового фактора получается в результате перемножения факторов каждой строки, второй раз – после перемножения знак меняется на противоположный.

3. *Изменение знаков в вектор-столбцах по степеням числа 2:*

- в первом столбце через  $2^0 = 1$ ;
- во втором столбце через  $2^1 = 2$ ;
- в третьем столбце через  $2^2 = 4$  и т.д.

Полный многофакторный эксперимент обладает следующими основными свойствами:

1. *Свойство ортогональности.* Точность предсказания значений целевой функции не зависит от направления в факторном пространстве и от расстояния до нулевого уровня. Это свойство полностью отражено в свойствах матрицы планирования.

2. *Свойство симметрии*: сумма членов каждого вектор-столбца равно нулю:  $\sum_{i=1}^N x_{j,i} = 0$ .

3. *Свойство нормировки*: сумма квадратов членов каждого вектор-столбца равна числу опытов:  $\sum_{i=1}^N x_{j,i}^2 = N$ .

4. *Свойство ротатбельности*: алгебраическая сумма произведений членов любых вектор-столбцов равна нулю:  $\sum_{i=1}^N x_{j,i} x_{k,i} = 0$ .

После проведения опытов и статистической оценки полученных результатов вычисляют коэффициенты модели. Процедура вычисления коэффициентов базируется на методе наименьших квадратов. Коэффициенты линейной модели вычисляются по формуле

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} \bar{y}_i}{N},$$

где  $\bar{y}_i$  – среднее значение целевой функции в  $i$ -м опыте.

Коэффициент  $b_0$  определяют путём осреднения значений  $\bar{y}_i$  во всех опытах, т.е.

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}_i}{N}.$$

Для формализации процедуры определения коэффициента  $b_0$  в матрицу вводится вектор-столбец  $x_0$ , состоящий из одних «+».

При решении задач оптимизации стремятся использовать линейную модель объекта, так как она требует меньшего числа опытов для определения её коэффициентов и вполне определённо указывает направление к оптимуму.

В задачах интерполяции основной целью является достаточно адекватное описание объекта в некоторой области. И в задачах оптимизации и в задачах интерполяции линейная модель может оказаться неадекватной.

Нелинейность обычно зависит от того, что целевая функция определяется ещё и взаимодействием факторов, т.е. влияние одного из факторов на целевую функцию зависит от того, на каком уровне находится некоторый другой фактор.

Полный факторный эксперимент позволяет оценить степень влияния самых различных взаимодействий. Для этого пользуются правилом перемножения вектор-столбцов

$$b_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} x_{ki} \bar{y}_i}{N}.$$

Величина коэффициента с учётом его знака указывает на степень влияния и «направление» того или иного фактора или взаимодействия на целевую функцию.

Порядок взаимодействия определяется по числу факторов взаимодействия минус единица. Так, взаимодействие двух факторов есть взаимодействие первого порядка. Априори можно утверждать, что чем выше порядок взаимодействия, тем менее оно значимо (тем меньше соответствующий коэффициент). Однако, это утверждение не является абсолютным, и на практике нередки случаи, когда взаимодействие более высокого порядка сказывается более значимым, чем взаимодействие низшего уровня.

Число тех или иных взаимодействий можно определить по формуле сочетаний

$$C_k^m = \frac{k!}{m!(k-m)!},$$

где  $k$  – общее число факторов;  $m$  – число факторов во взаимодействии.

### 3.8. ДРОБНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Полный факторный эксперимент требует избыточного числа опытов, если объект может быть описан линейной моделью. Следовательно, такой эксперимент характеризуется избыточным числом степеней свободы. Избыточное число степеней свободы может быть определено, как число опытов минус число коэффициентов линейной модели  $l = N - (k + 1)$ . Для полного двухфакторного эксперимента число опытов  $N = 4$ ,  $k = 2$ , следовательно, имеем одну степень свободы. Поскольку почти всегда имеется возможность сузить область эксперимента, то имеется возможность использовать линейную модель. Избыточную степень свободы возможно употребить для минимизации числа опытов. Для этого вектор-столбцу взаимодействия, которым можно пренебречь, присваивается имя нового фактора  $x_1 x_2 = x_3$ . Таким образом, план полного двухфакторного эксперимента используется для проведения дробного трёхфакторного экспери-

мента. В итоге становится возможным в два раза сократить число опытов по сравнению с полным трёхфакторным экспериментом. Матрица планирования будет иметь следующий вид:

№	$x_1$	$x_2$	$x_1 x_2 = x_3$
1	+	+	+
2	+	-	-
3	-	-	+
4	-	+	-

### 3.9. ДРОБНАЯ РЕПЛИКА

В рассмотренном выше случае была проведена замена  $x_1 x_2 = x_3$  (а). Вместе с тем существует возможность замены  $-x_1 x_2 = x_3$  (б). Если объединить два таких плана, то получится полный трёхфакторный эксперимент.

Каждый из этих двух планов называется дробной репликой от полного факторного эксперимента (в рассмотренном случае – полурепликой). Если перемножить каждое из соотношений (а) и (б) на  $x_3$ , то получим  $x_1 x_2 x_3 = 1$  или  $x_1 x_2 x_3 = -1$ . Произведение вектор-столбцов, численно равное  $\pm 1$ , называется определяющим контрастом. Он служит для того, чтобы определить, с каким фактором или взаимодействием смешан данный фактор или взаимодействие. Для этого определяющий контраст умножается на данный фактор (взаимодействие). После умножения определяющего контраста на этот фактор (взаимодействие) получают генерирующее соотношение, которое и определяет искомое взаимодействие, например  $x_1 x_2 x_3 = 1$ , умножаем на  $x_2$ , получим  $x_1 x_3 = x_2$ .

Как полный, так и дробный многофакторный эксперименты не позволяют оценить коэффициент при квадратах соответствующих факторов, так как вектор-столбец  $x_i^2$  равен вектор-столбцу  $x_0$ .

Если в дробном факторном эксперименте  $p$  взаимодействий смешаны с  $k$  факторами, то такая дробная реплика обозначается как  $2^{k-p}$ . Если фактор связан с взаимодействием наивысшего порядка, то такая дробная реплика называется главной. В случае использования матрицы полного двухфакторного эксперимента для дробной реплики трёхфакторного эксперимента есть только одна возможность смешать взаимодействие первого порядка  $(x_1 x_2)$  с фактором  $x_3$  ( $x_1 x_2 = x_3$ ). В таком случае получают

дробную реплику разрешающей способности III:  $2_{III}^{3-1}$ . Разрешающая способность реплики определяется по числу факторов в определяющем контрасте (например, в случае  $x_1x_2x_3 = 1$ , разрешающая способность III).

Дробные реплики типа  $2^{k-p}$  позволяют сократить число опытов в  $2^p$  раз по сравнению с полным факторным экспериментом. Такие дробные реплики называют регулярными. Они полностью сохраняют свойства полного многофакторного эксперимента.

### 3.10. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

Перед началом эксперимента требуется строго сформулировать цель исследования (задача интерполяции или оптимизации), определить все значимые факторы, а также один-единственный параметр оптимизации (целевую функцию). Затем ограничивают область факторного пространства, проектируют экспериментальную установку, калибруют приборы, планируют эксперимент. С целью исключения систематической погрешности (например, влияние климатических условий), опыты эксперимента проводят в случайной последовательности (например, в соответствии с таблицей случайных чисел). Такой подход называют рандомизацией (англ. «gandom» – случай). При проведении опытов необходимо предусмотреть возможность статистической оценки результатов. Результаты не обсуждаются, пока не известна их погрешность и доверительная вероятность её определения. Для этого все опыты проводятся не менее двух раз.

Затем определяют статистическую однородность результатов каждого опыта. Для этого находят экстремальное значение целевой функции  $y_{3,i}$ , в наибольшей мере отличающееся от соответствующего среднего её значения, и определяют  $r$  – величину критерия

$$r = \frac{|y_{3i} - \bar{y}_i|}{\sigma}, \quad (3.1)$$

где  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n-1}}$  – среднеквадратичное отклонение целевой функции в параллельных измерениях  $i$ -го опыта;  $j=1, \dots, n$  – число параллельных опытов;  $i=1, \dots, N$  – число независимых опытов матрицы планирования.

Если расчётное значение критерия  $r$  больше табличного критерия Стьюдента (см. табл. 2), то  $y_{3i}$  – грубая ошибка.



## 2. Значения критерия Стьюдента при 5%-м уровне значимости

Число степеней свободы	Значения критерия	Число степеней свободы	Значения критерия	Число степеней свободы	Значения критерия
1	12,71	11	2,201	21	2,080
2	4,303	12	2,179	22	2,074
3	3,182	13	2,160	23	2,069
4	2,776	14	2,145	24	2,064
5	2,574	15	2,131	25	2,060
6	2,447	16	2,120	26	2,056
7	2,356	17	2,110	27	2,052
8	2,306	18	2,101	28	2,048
9	2,262	19	2,093	29	2,045
10	2,228	20	2,086	30	1,960

Значимость расхождения двух средних значений также оценивается по критерию Стьюдента:

$$t = \frac{\bar{y}_{\max} - \bar{y}_{\min}}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_{\max}} + \frac{1}{n_{\min}}}}, \quad (3.2)$$

где  $n_{\max}$  – число опытов для определения  $\bar{y}_{\max}$ ;  $n_{\min}$  – число опытов для определения  $\bar{y}_{\min}$ .

Затем определяется дисперсия целевой функции по формуле

$$\sigma_{(y)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i0})^2}{N(n-1)}. \quad (3.3)$$

Указанную формулу (3.3) можно использовать только при одинаковом числе параллельных опытов. Если  $n_i \neq \text{const}$ , то дисперсия определится как

$$\sigma_{(y)}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N \sigma_i^2 f_i}{\sum_{i=1}^N f_i}, \quad (3.4)$$

где  $f_i$  – число степеней свободы  $i$ -го опыта, причём  $f_i = n_i - 1$ .

### 3. Значения критерия Фишера при 5%-м уровне значимости

$f_1$	$f_1 = 1$	2	3	4	5
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7
16	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9
24	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6
28	4,2	3,3	3,0	2,7	2,6

Формулы (3.3) и (3.4) можно применять только при однородных дисперсиях всех опытов. В однородности дисперсий опытов в эксперименте можно убедиться, используя критерий Фишера  $F$  (см. табл. 3):  $F = \frac{\sigma_{\max}^2}{\sigma_{\min}^2}$ .

Если полученное расчётное значение этого критерия больше табличного, то дисперсии неоднородны и требуется устранить причину неоднородности.

После проведения этих оценок проводится построение математической модели объекта в виде  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + \dots$ , причём

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_0 \bar{y}_i}{N}; \quad b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \bar{y}_i}{N}.$$

Затем выполняется оценка адекватности полученной математической модели путём сравнения дисперсии адекватности с дисперсией целевой функции.

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sigma_{\text{ад}}^2}{\sigma_{(y)}^2}.$$

Если отношение дисперсий, условно принимаемое за расчётное значение критерия Фишера, меньше табличного критерия, то модель признаётся адекватной ( $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$ ).

Дисперсия адекватности определяет степень рассеяния экспериментальных результатов относительно расчётных и вычисляется по формуле

$$\sigma_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{ip} - \bar{y}_i)^2}{f},$$

где  $f$  – число степеней свободы дисперсии адекватности, которая определяется как число независимых опытов за минусом числа значимых коэффициентов модели. Для случая линейной модели  $f = N - (k + 1)$ , где  $k$  – число факторов;  $k + 1$  – число коэффициентов линейной модели.

На следующем этапе выполняется оценка значимости коэффициентов модели. Оценка значимости может быть проведена двумя методами:

1) по доверительному интервалу:  $\Delta b_j = \pm t \sigma_{b_j}$ , где  $t$  – критерий

Стьюдента;  $\sigma_{b_j} = \sqrt{\frac{\sigma_{(y)}^2}{N}}$  – среднеквадратичное отклонение (стандарт) коэффициента модели;

2) по критерию Стьюдента  $t = \frac{|b_j|_{\min}}{\sigma_{b_j}}$ . Если расчётное значение критерия Стьюдента больше табличного, то коэффициент  $b_j$  более значим.

Члены полинома, которые имеют незначимые коэффициенты, могут быть отброшены, что приводит к упрощению модели. После проверки адекватности модели она может быть использована для прогнозирования значений целевой функции и поиска оптимальных условий.

## 4. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ

---

### 4.1. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПСИХОЛОГИИ ТВОРЧЕСТВА

Творческая деятельность наталкивается на множество препятствий психологического характера, основными из которых являются: инерционность мышления, неуверенность в собственных творческих способностях, неустойчивость против неудач и трудностей. Умение преодолевать эти препятствия характеризует способности творческой личности и в частности такие её свойства, как нестандартность мышления, уверенность в себе, настойчивость в достижении цели.

Эффективность творческой деятельности обуславливается многими факторами, такими как: 1) удовлетворённость от самого процесса поиска и решения задач (органическая потребность в творчестве); 2) моральные мотивы – желание внести личный вклад в развитие страны; 3) престижные (честолюбивые) мотивы – желание утвердить себя как личность, увеличить число научных трудов; 4) материальные мотивы – получить авторское вознаграждение или повысить в перспективе зарплату.

Для стимулирования творческой деятельности студентов могут быть учтены в большей или меньшей мере все факторы.

В проблеме психологии творчества выделяют несколько аспектов: процесс творчества, творческую личность, творческие способности и творческий климат.

Изучение психологии творчества имеет своей целью дать ответ на следующие практически важные для инженерной творческой деятельности вопросы: а) каковы условия воспитания и реализации творческих способностей; б) в чём причины различной устремлённости специалистов к творчеству; в) какова связь отдельных этапов творчества с индивидуальными чертами творческой личности. Перечисленные вопросы довольно полно изложены в специальной литературе. При изучении различных аспектов психологии творчества целесообразно, чтобы обучающийся нацеливался постоянно на познание самого себя, на развитие своих творческих способностей.

Как показывает опыт преподавания дисциплины, одним из наиболее актуальных вопросов психологии творчества, с которым приходится сталкиваться с самого начала процесса изучения курса является вопрос о том, можно ли научиться творчеству. Например, у многих обучающихся существует стереотип того, что научиться изобретать невозможно. Для преодоления указанного стереотипа представляется целесообразным рекомендовать познакомиться с книгой английских профессоров М. Тринга и Э. Лейтуэйта [11], в которой представлены убедительные доказательства того, что «...способность к оригинальному творческому мышлению рас-

пространена очень широко, причём настолько, что можно даже утверждать: она присуща большинству нормальных людей. ...Как показал наш собственный опыт лишь немногие из тех, кто наделен талантом изобретателя, умеют развивать талант и пользоваться им. ...Эти люди могут научиться эффективно применять свой талант к решению поставленной задачи».

Следует указать, кроме того, что при изучении методов инженерного творчества не следует пренебрегать вопросами психологии, поскольку знание последних обязательно способствует более эффективному освоению и применению на практике всех известных методов интенсификации творческой деятельности.

Творческие способности оцениваются по следующим признакам.

1. *Зоркость в поисках проблем.* На человека действует поток внешних раздражителей, но он воспринимает лишь то, что укладывается в «координатную сетку», «сформированную» его сознанием (мировоззрением). Остальные раздражители (информация) бессознательно отбрасывается.

Способность увидеть нечто большее, чем то, что укладывается в рамки прежних представлений и является «зоркостью в поисках проблем». Эта зоркость по другому свежесть взгляда является нечто большим, чем простая наблюдательность. Например, падение предметов наблюдают многие сотни поколений людей, но впервые проблему в этом увидел Галилей.

2. *Свертывание мыслительных операций.* В процессе мышления нужен не только постепенный переход от одного звена в цепи рассуждений к другому, но и обобщённая оценка объекта – осмысление. Переход от последовательных выводов к абстрактному заключению – это и есть процесс свертывания мыслительных операций.

По мере развития цивилизации человек всё в большей мере пользуется абстракционными понятиями. Причём сами абстрактные понятия со временем становятся составными частями абстрактных понятий более высоких порядков. Пользуясь абстрактными понятиями, человек постоянно совершенствует свои интеллектуальные возможности. В качестве примера можно привести развитие понятия окислительной реакции: «окисление» – соединение с кислородом (XVIII век), потеря водорода (XIX век), потеря электрона (XX век).

3. *Способность к переносу опыта* – это способность к применению навыков, приобретённых при решении одной задачи, к решению другой, что по сути является способностью к выработке обобщённой стратегии. В основе способности к переносу опыта лежит способность к поиску аналогий. Так, Тал – ученик Дедала, изобретателя крыльев, избрал пилу, воспользовавшись аналогией спинного хребта рыбы, о который он поранил руку.

Морзе (изобретатель телеграфа) предложил использовать для предотвращения заглушения сигнала усиливающие подстанции, оттолкнув-

шись от примера почтовых станций, на которых меняли уставших лошадей на свежих.

4. *Цельность восприятия.* Этот признак означает способность воспринимать действительность целиком, не дробя её.

В зависимости от степени развитости этой способности творческие работники разделяются на художников и мыслителей. Художники воспринимают действительность более цельно, что называется «живьём». Мыслители дробят действительность, умерщвляют её, делают из неё скелет и затем заново её восстанавливают из частей, но до конца оживить действительность им так и не удаётся.

Деление на мыслителей и художников в настоящее время связывают с превалирующей функцией либо левого (мыслители), либо правого (художники) полушария головного мозга. Подтверждает это тот факт, что сейчас выпускаются стереонаушники, в которых строго определены каналы (музыкант лучше слышит мелодию правым, а мыслитель левым ухом).

«Мыслитель» как тип высшей нервной деятельности отнюдь не есть идеал учёного (изобретателя), поскольку в науке нужны не только аналитики, рассматривающие отдельные факты, но и специалисты способные синтезировать новые образы (увидеть новое в привычном).

5. *Сближение понятий.* Этот признак означает способность к ассоциативному мышлению, к сближению различных понятий.

Впервые на важность способности сближения понятия обратил американский учёный С. Медник и посчитал её основной компонентной мыслительного процесса. Им были предложены тесты для оценки творческого потенциала, например: 1) изумруд – молодой; требуется найти ассоциацию, в наибольшей мере соединяющую два понятия (зелёный); 2) найти определение, подходящие персональным понятиям: небо, кровь, Дунай (голубой).

Но такой подход является очевидно ошибочным, поскольку способность к ассоциативному мышлению является одним из многих качеств процесса творческого мышления.

Украинские учёные Голованя и Старинца доказали, что между любыми двумя понятиями можно не более чем в 4-5 этапов установить ассоциативную связь.

6. *Готовность памяти.* Мыслительная способность, заключающаяся в способности сохранять, осознавать и воспроизводить прошлый опыт немедленно или с отсрочкой, называется готовностью памяти.

Интуитивные мгновенные решения, которые представляются неожиданными самому автору, становятся возможными потому, что имеется ассоциативная память, обеспечивающая быстрый доступ к нужной информации.

7. *Гибкость мышления.* Способность быстро и легко переходить от анализа одного класса явлений к другому, далёкому по содержанию, называют гибкостью мышления. Явления являются далёкими по содержанию, если имеют принципиально различную сущность и форму проявления.

ния. Антонимом гибкости в данном случае является инертность, ригидность, закоренелость, застойность.

Например, тест, предложенный американским психологом Дункером: задача закрепить свечи на двери используя молоток, плоскогубцы, коробку гвоздей и стамеску. Использовать коробку в качестве подсвечника догадывается только 50% испытуемых в связи со свойственной им гибкостью мышления.

Способность к преодолению функциональной фиксированности – основа проявления гибкости мышления. Разуму свойственно рисовать ограничительные линии и постоянно на них наталкиваться. Например, проверить свойства функциональной фиксированности можно, используя опыт с четырьмя картами, с одной стороны которых изображена буква (гласная или согласная), а с другой – цифра (чётная или нечётная). Требуется убедиться в утверждении, что если с одной стороны карты – гласная, то с другой – чётная цифра, используя минимум операций. Признаку функциональной фиксированности соответствует оперирование картами с гласными и чётными, и, напротив, гласными и нечётными оперируют при наличии гибкости мышления.

8. *Способность к оценке.* Способность выбора одной из возможных версий до её проверки. Способность к оценке обеспечивает расстановку вех на пути к цели познания. Особенно важна эта способность для руководителей творческих коллективов, обязанных определять тактику и стратегию в достижении творческого результата. Наглядным примером, демонстрирующим наличие или отсутствие способности к оценке, является способность (неспособность) широко использовать шкалу баллов при оценке какого-либо события (человек, способный к оценке, использует при оценке всю шкалу, а неспособный пользуется только узким её диапазоном).

9. *Способность к сцеплению и антисцеплению.* Склонность к объединению воспринимаемых раздражителей и быстрому увязыванию новых сведений со старым своим «багажом», без чего информация не становится частью интеллекта.

Принципы объединения данных могут быть разнообразными.

Способность к сцеплению должна быть уравновешена способностью преодолеть сцепление оторвать, наблюдаемый факт от привычных ассоциаций.

10. *Лёгкость генерирования идей.* При этом не обязательно, чтобы каждая идея была правильной. Чем больше человек выдвигает идей, тем больше вероятность того, что среди них будет правильная.

Сам по себе этот критерий не является исчерпывающим при оценке творческих способностей, поскольку идеи в конце концов оцениваются по нескольким признакам:

- а) по степени объективности воспроизведения явлений в идее;
- б) по широте (по числу объясняемых фактов);
- в) по глубине (по степени углублённости в сущность явления).

11. *Способность предвидения* – это способность вообразить будущее явление из настоящих предпосылок.

Принято различать три типа воображения: логическое, критическое и творческое. Логическое воображение представляет способность вообразить будущее явление путём логических преобразований. Критическое воображение направлено на преобразование наблюдаемых объектов путём критического их анализа. Творческое воображение рождает принципиально новые идеи, не имеющие прообразов в реальном мире. Творческое воображение играет определяющую роль в развитии человечества.

12. *Беглость речи* – это способность к лёгким и точным формулировкам, позволяющая ярко и точно выразить мысль словами. Мысль можно выразить конечно и путём математической её формулировки, но словесно-речевой код считается самым универсальным.

Изложение на бумаге имеет целью не только обнародование, но это и своеобразная критическая операция, вскрывающая недостатки логики, неувязки, просчёты. Идеал, который в момент зарождения может казаться блистательным, при изложении на бумаге может либо потускнеть, либо заблестать с ещё большей силой.

Однако в старинном руководстве по риторике первое правило красноречия гласит: если тебе нечего сказать, молчи.

13. *Способность к доработке* – это предрасположенность к доработке деталей идеи, к её совершенствованию, к кропотливой мучительной доводке замысла. О значимости обладания этой способностью свидетельствуют слова, сказанные одним из «гигантов» эпохи возрождения Микеланджело Буонаротти: «Мелочи создают совершенство, а совершенство – не мелочь».

Эта способность позволяет довести работу до уровня, когда она приобретает универсальную значимость и повышенную общественную ценность.

Понятие «мышления» и «творчества» по сути адекватные понятия, поэтому рассмотренные свойства творчества являются свойствами мышления. При этом важно отметить, что в соответствии с последними исследованиями истоками творческого совершенства личности являются гено-тип или среда.

#### 4.2. МЕТОДЫ ПОИСКА ИДЕЙ (ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ)

Инженерный труд является по своей сути творческим и поэтому чрезвычайно важно научить специалиста методам решения творческих задач. Несмотря на то, что творчеству научить невозможно, привить интерес к творчеству, развить творческие способности личности вполне возможно.

Систематизацией и изучением методов решения творческих задач занимается научная дисциплина, называемая эвристикой. Этот термин впервые использован Паллом Александрийским (III в. до н.э.). Эвристика –



наука о методах решения творческих задач. Наиболее распространёнными методами решения крупных творческих задач абстрактного характера являются «мозговой штурм» и синектика.

«Мозговой штурм» направлен на усовершенствование традиционно метода поиска «проб и ошибок».

Сущность метода проб и ошибок заключается в том, что изобретатель выдвигает идею, а затем её проверяет, и так многократно до достижения требуемого результата. Однако люди имеют различные наклонности, одни склонны к генерированию идей, а другие к анализу. Одни блистают критическим воображением, а другие творческим и т.д. Учитывая это обстоятельство, американский исследователь Осборн предложил (1953 г.) создать две группы поиска идей, одна из которых выдвигает идею, а другая их анализирует.

Основные правила мозгового штурма:

1. В группу «генераторов» входят различные специалисты.
2. Свободно высказываются любые идеи, даже фантастические. Идеи высказываются без доказательств с фиксированием в протоколе, на магнитофоне или предъявляются на карточках. Регламент одна минута.
3. Запрещена всякая критика, даже молчаливая.
4. Атмосфера должна быть доброжелательной. Желательно, чтобы идеи подхватывались другими участниками, развивались и уточнялись.
5. При экспертизе необходимо анализировать все идеи, даже те которые кажутся несерьёзными.

Существуют различные разновидности мозгового штурма: а) обратный штурм (поиск недостатков); б) индивидуальный; в) парный; г) двухстадийный; д) поэтапный.

«Бестолковость» поисков при «мозговом штурме» компенсируется количеством идей, однако применение метода связано с потерей рабочего времени многих сотрудников. Выигрыш достигается только за счёт сокращения малоэффективных попыток. Мозговой штурм целесообразен при решении задач, которые не являются точными или узкоспециальными. В противном случае мозговой штурм нуждается в усовершенствовании, например в форме профессионального мозгового штурма.

Метод «Синектика» предложен американским исследователем Уильямом Гордоном, который основал в 1960 г. фирму с аналогичным названием. Название метода происходит от греческого «синектикс» – «соединение разнородных элементов». Синектика направлена на совершенствование мозгового штурма.

В проспекте фирмы «Синектика» дано определение: «Синектическая группа – группа людей разных специальностей, которые встречаются с целью попытки творческого решения проблем путём неограниченной тренировки воображения и объединения несовместимых элементов». Таким образом, в основу синектики положен мозговой штурм, проводимый постоянной группой с последовательным критическим анализом

вариантов. Такие группы накапливают опыт, совершенствуя взаимодействие, и работают сильнее случайно собранных. Решение задачи синектической группой осуществляется в следующей последовательности:

- 1) ознакомление с проблемой «как она есть»;
- 2) уточнение проблемы и превращение её в такую «как она понимается»;
- 3) решение проблемы путём поиска новых точек зрения с целью «сбить» психологическую инерцию.

Для этого в синектике существуют четыре вида аналогии.

1. Прямая аналогия предполагает сравнение рассматриваемого объекта с более или менее аналогичным объектом из другой отрасли или даже из природы, художественной литературы и т.д. Заимствование идей из другой области, требует от инженера определённого минимума знаний из этой области, например: бионика – использование механизмов живой природы – требует минимума знаний по биологии и особенно по физиологии.

2. Личная (субъективная) аналогия, или эмпатия заключается в том, что человек «вживается» в функцию совершенствуемого объекта, пытается выявить возникающие при этом чувства и ощущения. Эта аналогия чаще используется в сфере человеческих отношений. В сфере науки и техники задача эмпатии заключается в том, чтобы представить себя некоторым объектом и прочувствовать его поведение и реакцию.

3. Символическая аналогия – обобщённая абстрактная аналогия. Она предполагает использование ярких абстрактных образов, позволяющих активизировать творческий процесс. Например, для шлифовального круга – «точная шероховатость». Символическая аналогия – это и многие поэтические метафоры и сравнения, в которых отождествляются характеристики объекта, например: устье реки (факела распыла), заглушить вибрацию, подавить сопротивление. Использование символической аналогии позволяет оживить воображение и преодолеть психологическую фиксированность.

4. Фантастическая аналогия – предполагает виртуальное применение каких-нибудь фантастических существ и средств, выполняющих идеально то, что требуется (гномики, сапоги-скороходы, скатерть-самобранка). Фантазия – суть творческое воображение, связанное с желанием, чтобы произошло то, что хочется. Использование фантазии для симулирования новых идей заключается в размышлении над некоторыми фантастическими «сказочно» идеальными решениями. Существует вероятность того, что вы придёте в своих размышлениях к новой идее или точке зрения. Фантазия у человека развивается путём систематических специальных упражнений. Одна из попыток в этом направлении предпринята профессором Стэнфордского университета Дж. Арнольдом. По его методу предлагается решать изобретательские задачи в условиях воображаемой

планеты Арктур IV со специфическими условиями (температура  $-100^{\circ}\text{C}$ , силой тяжести  $10g$ , с атмосферой из смеси метана и аммиака и т.п.)

В России разработан и внедрён курс развития творческого воображения. В этот курс входит обучение фантограммам – таблицам, на одной оси которых записаны изменяющиеся характеристики объекта, а на другой – главные приёмы изменения.

Ход синектического заседания либо записывается на плёнку, либо стенографируется. Синектическая группа выполняет свою работу в следующей последовательности:

1. Освоение проблемы на уровне «проблема как она есть» с использованием традиционных формулировок.

2. «Очищение проблемы от очевидных решений» – дискуссия путём высказывания взглядов на очевидные решения, которые не дадут больше, чем известные результаты.

3. «Преобразование необычного в привычное» – поиск аналогий, направленный на выражение проблемы в терминах, которые находятся в ходу у синектической группы.

4. Освоение проблемы на уровне «проблема как она понята» путём определения главных противоречий и трудностей, мешающих решению проблемы.

5. Работа группы по «наводящим вопросам», которые задаются председателем группы, предлагающим дать решение, пользуясь одной из аналогий. Члены группы в свободной манере проигрывают каждый наводящий вопрос. Если аналогии становятся очень абстрактными, то дискуссия направляется в русло проблемы «как она понята».

При появлении перспективной идеи её развивают до той степени, когда её можно воспроизвести материально и опробовать.

Члены группы испытывают большой душевный подъём при подходе и достижении положительного результата, но после этого, как правило, наступает физическое и психическое изнеможение.

Синектика используется для решения крупных проблем обобщённого характера. Она является наиболее сильным способом решения проблем, из числа методов, используемых в зарубежной практике.

### 4.3. МЕТОДИКА ПРЕОДОЛЕНИЯ ТУПИКОВЫХ СИТУАЦИЙ

Эта методика применяется для нахождения новых направлений поиска, если очевидная область поиска не дала приемлемого решения. Здесь, как во многих других методах, широко используются приёмы преодоления функциональной фиксированности, психологической инерции и активации восприятия (инверсии, модификации, ассоциации и другие).

Ассоциация – приём решения проблем, направленный на поиск параллелей – «ассоциаций» с решёнными проблемами других авторов (собственная идея может быть оригинальной только в части применения её

к решению конкретной задачи). Модификацией называют усовершенствование заимствованной идеи. Инверсия – метод преодоления психологической инерции путём сознательного отказа от прежних взглядов на задачу с тем, чтобы взглянуть на неё с совершенно противоположных позиций.

Методика ликвидации тупиковых ситуаций не имеет какой-то строгой последовательности и может быть реализован в нескольких вариантах, один из которых может оказаться полезным при выходе из тупика. Возможны следующие варианты выхода из тупика:

1. Преобразование имеющегося неудовлетворительного решения. Например, возможные преобразования по Осборну: использовать по-другому, приспособить, модифицировать, усилить, ослабить, изменить, перекомпоновать, объединить, обратить и др.

2. Поиск новых взаимосвязей между частями имеющегося неудовлетворительного решения. Здесь используется матрица взаимосвязи для исследования того, в каком взаимодействии находятся отдельные элементы объекта.

3. Переоценка проектной ситуации. Это своеобразное использование метода аналогий применительно к проблеме, а не только к её решениям.

Редко самым надёжным способом выйти из затруднительного положения является следование совету Мэтчетта – неоднократно возвращайтесь к анализу первичной функциональной потребности объекта, к тому первичному требованию, которое должно быть удовлетворено. Например, при проектировании туннеля под Ла-Маншем возникла проблема удаления выхлопных газов из туннеля большой протяжённости. Однако после возврата к первичной функциональной потребности – необходимости проводки автомобиля на большой скорости – приходят к выводу о целесообразности использования электропоездов с платформами для транспортирования.

4. Метод морфологического ящика. Использован впервые в 1942 г. американским астрономом швейцарского происхождения Ф. Цвикки. Проектирование по этому методу включает два этапа:

- 1) морфологический анализ гипотетического объекта;
- 2) синтез объекта.

На первом этапе изучают набор функций, которые выполняет объект, его общее (абстрактное) строение, и состав элементов, которые могут выполнять требуемые функции. На втором этапе синтезируют различные варианты объекта, используя морфологические элементы, полученные на первом этапе. По Цвикки морфологический ящик – это все мыслимые в рамках задачи варианты объекта. Выбор варианта должен быть осуществлён на основе системного анализа.

В заключение следует обратить внимание на то, что представленные методы решения творческих задач следует рассматривать как «вспомогательное орудие творчества». Несмотря на кажущуюся легковесность рассмотренных методов, надо понимать, что они основаны на достаточно серьёзных научно обоснованных принципах. При очевидном отсутствии

решений методы позволяют либо расширить область поиска, либо выбрать для него новую область.

Овладение этими методами обычно не вызывает особых проблем, однако нежелание прибегать к «умственным трюкам» может сделать их бесполезными. Всегда требуется некоторое усилие, чтобы признать, что мы находимся в некотором «умственном тупике», и в соответствии с этим сознательно изменить стратегию.

Рассмотренные методы активизации поиска, каждый по своему, реализуют некоторую тактику перебора вариантов. Эти методы универсальны, однако малоэффективны при решении узкоспециальных изобретательских задач, для решения которых требуется перебрать десятки тысяч вариантов. Для решения такого рода задач в отечественной практике используется эвристическая программа АРИЗ.

#### 4.4. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

Для эффективного решения сложных изобретательских задач может быть использована эвристическая программа, позволяющая заменить перебор вариантов целенаправленным продвижением в район решения. Такая программа предложена советским исследователем изобретательских задач Альтшуллером.

По Альтшуллеру изобретательские задачи разделяются на пять уровней в зависимости от сложности их решения. Задачи первого уровня (легкие) решаются с применением средств, которые прямо предназначены именно для этой цели. На втором и третьем уровнях сложности задачи, при решении которых используются неочевидные средства, которые существенно изменяют объект.

При решении задач четвёртого уровня трудности объект претерпевает полные изменения, а для решения задач пятого уровня требуется изменить всю техническую систему, в которую входит объект.

Решение задач первого уровня требует некоторого количества очевидных вариантов и по сути эти задачи не являются изобретательскими, поскольку практически не содержат элементов неожиданности. На втором уровне требуется перебрать несколько (в том числе неочевидных) десятков вариантов (50 – 70), на третьем – несколько сотен, на четвёртом – несколько тысяч, а на пятом – несколько сотен тысяч. Например, Эдисон прежде, чем изобрести щелочной аккумулятор, опробовал экспериментально 50 тысяч вариантов решения задачи.

При работе над изобретательскими задачами высших уровней действует эстафетный механизм. Нередко задача сама находит своего «разрешителя». Например, физик Крукс в конце XIX века обозначил важность проблемы связывания атмосферного азота, а норвежский специалист по полярным сияниям Биркеланд решил её, используя аналогию с процессами в верхних слоях атмосферы.

Задачи нижних и верхних уровней сложности отличаются не только по числу необходимых пробных вариантов решений. Задачи низших уровней решаются средствами, используемыми в аналогичной или смежной отраслях. Решения же задач высших уровней достигаются средствами науки с использованием малоприменяемых эффектов, а некоторые задачи пятого уровня сложности для своего решения требуют научных открытий. Чем более высокий уровень трудности задачи, тем более широкие знания необходимы для её решения.

Научно-технический прогресс требует, чтобы задачи высших уровней решались во всё более короткие сроки. Возможности традиционного способа интенсификации, заключающегося в увеличении числа людей, работающих над проблемой на сегодня практически исчерпаны.

В связи с этим возникает потребность в разработке способа перевода изобретательских задач с высших уровней на низшие. Если задачу четвёртого или пятого уровня удаётся перевести на первый или второй уровень, то срабатывает традиционный механизм перебора вариантов.

Изобретательские задачи принципиально отличаются от задач технических, инженерных, конструкторских. Это отличие заключается в том, что при решении изобретательских задач необходимо преодолеть противоречие.

Противоречие уже заложено в самом факте возникновения изобретательской задачи: нужно что-то сделать, а как это сделать неизвестно. Такие противоречия принято называть *административными противоречиями*. Выявлять административные противоречия нет необходимости, поскольку они лежат на поверхности задачи. Но эвристическая (поисковая) сила таких противоречий равна нулю, поскольку они не указывают, в каком направлении следует искать решение задачи.

Второй вид противоречий – это *технические противоречия*. Они лежат, как правило, в глубине административных противоречий. В обобщённой формулировке это противоречие можно представить в следующем виде: если известными способами решить проблему недопустимо, в частности, ухудшатся свойства объекта в целом. Правильно сформулированное техническое противоречие обладает определённой эвристической ценностью, поскольку позволяет отбросить некоторые «пустые» области поисков, в которых выигрыш в одном свойстве сопровождается проигрышем в другом.

Предельная острота взаимоисключающих требований наблюдается в *физических противоречиях*, т.е. когда к одной и той же системе предъявляют требование наличия взаимоисключающих физических свойств. Например, при полировке оптических стёкол необходимый эффект может быть достигнут только в случае сплошной поверхности абразивного инструмента, однако при этом наблюдается поверхностное подплавление стекла, снижающее качество последнего. Названная проблема может быть сформулирована в виде следующего физического противоречия: 1) поверхность абразивного инструмента должна быть сплошной, чтобы

хорошо полировать; 2) поверхность инструмента должна иметь отверстия (каналы) для подвода охлаждающей жидкости к полируемой поверхности.

Физические противоречия присущи только изобретательским задачам высших уровней сложности, в связи с чем преодолевать физические противоречия целесообразно в процессе решения этих задач, т.е. путём ознакомления с описаниями изобретений высший уровней.

Несмотря на то, что существующий фонд описаний изобретений очень велик (ежегодно в мире выдаётся около 300 тыс. патентов и авторских свидетельств), изобретений высших уровней не более 2...3%. С учётом того, что для выявления современных приёмов устранения физических противоречий достаточно исследовать самый «свежий патентный слой» глубиной около 5 – 10 лет потребуется вполне доступное число описаний – порядка 10 тысяч. Для того чтобы рационально воспользоваться известными приёмами преодоления противоречий, необходимо располагать критериями оценки получаемых результатов. Такая оценка предполагает знание закона развития технических систем.

Развитие технических систем подчиняется общим законам диалектики. Для того чтобы установить закон развития технической системы, необходимо глубокое патентное исследование так называемой «патентной скважины». Патентная скважина – это патентные и историко-технические материалы, отражающие развитие одной технической системы за многие десятилетия (приблизительно за 100 лет).

На основе законов развития технических систем строится программа решения изобретательских задач высших уровней, позволяющая без перебора вариантов сводить их к задачам низших уровней.

На первом этапе реализации программы выявляется физическое противоречие. Этот результат достигается путём использования специальных операторов по определённым правилам.

Для преодоления физического противоречия в программах используется информационный фонд, содержащий изобретательские приёмы, представленные в виде таблиц в зависимости от типа задачи и противоречия, а также в виде таблиц применения физических эффектов.

В программе должны содержаться средства управления психологическими факторами (активизацией воображения и преодоления психологической инерции).

Программы, характеризующиеся перечисленными свойствами, получили название алгоритмов решения изобретательских задач. В этом случае «алгоритм» следует понимать как достаточно чёткую программу действий.

Существует несколько модификаций алгоритма решения изобретательских задач (АРИЗ), которые обозначаются двумя цифрами, соответствующими году их разработки. В каждой последующей разработке усиливаются главные признаки алгоритма: детерминированность, массовость, результативность. Внешне работа с АРИЗ выглядит следующим образом: с помощью операторов алгоритма изобретатель шаг за шагом (без пустых проб) выявляет

физическое противоречие и определяет ту часть системы, к которой оно относится, затем используются операторы изменяющие выделенную часть системы и устраняющие противоречие.

АРИЗ оперирует таблицами типовых приёмов устранения физических противоречий, которые в одной из последних модификаций созданы на основе анализа 40 тысяч описаний изобретений высших уровней. Такая таблица отражает коллективный опыт огромного числа изобретателей и сохраняет эффективность на 10 – 15 лет после её разработки. АРИЗ организует мышление изобретателя так, как будто в распоряжении одного человека имеется опыт огромного числа изобретателей. И что важно, этот опыт используется творчески. Аппарат АРИЗ регулярно пополняется и совершенствуется.

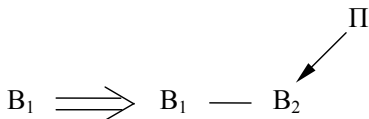
Проанализируем к примеру опыт решения двух типичных изобретательских задач.

1. Способ определения неплотностей в холодильных агрегатах, заполненных фреоном и маслом, в котором с целью повышения точности определения мест утечки вместе с маслом вводят люминофор и освещают агрегат в затемнённом помещении ультрафиолетовыми лучами.

2. Способ бесконтактного определения степени размягчения (затвердения) полимерного состава, в котором с целью бесконтактного контроля в состав вводят магнитный порошок и измеряют магнитную проницаемость состава.

Можно привести большое количество аналогичных задач из различных областей техники, анализ которых показывает, что в их условиях дано одно вещество (под веществом понимается любой материальный объект), и к веществу добавлено второе вещество и поле.

Обозначим поле буквой П, первое вещество  $V_1$ , второе вещество  $V_2$ . Связи будем обозначать стрелками. Запишем решения задач 1 и 2, обозначив двойной стрелкой переход от «дано» к «получено».



Два вещества и поле могут быть самыми различными, но они необходимы и достаточны для образования минимальной технической системы, получивший название «веполь» (вещество–поле).

В физике полем называют форму материи, осуществляющую взаимодействие между частицами вещества. Различают четыре вида полей: электромагнитное, гравитационное, поля сильных (на внутримолекулярном уровне) и слабых (межмолекулярные поверхностные силы) взаимодействий. В широком смысле поле – пространство (двухмерное, трёхмерное или гиперпространство), каждый точке которого в соответствие по-



ставлена некоторая векторная или скалярная величина (например поле температур, концентраций и т.п.). В АРИЗе поле понимают в самом широком смысле.

В вепольных формулах записывают поля на входе и выходе, т.е. поля, которыми по условиям задачи можно управлять. В формулах приняты следующие обозначения:

« $\Delta$ » – веполь (в общем виде)

« $\rightarrow$ » – действие

« $\leftrightarrow$ » – взаимодействие

« $\dashrightarrow$ » – действие или взаимодействие, которое необходимо ввести условия задачи;

« $\sim$ » – неудовлетворительное действие или взаимодействие, которое должно быть исключено;

« $\Pi \rightarrow$ » – поле на входе;

« $\rightarrow \Pi$ » – поле на выходе;

$\Pi$ ,  $\Pi''$  – состояние поля на входе и того же поля на выходе соответственно;

$V$ ,  $V''$  – состояние вещества на входе и выходе соответственно;

$V$  –  $V''$  – переменное вещество пребывающее в состояниях  $V$ ,  $V''$  соответственно;

$\tilde{\Pi}$  – переменное поле;

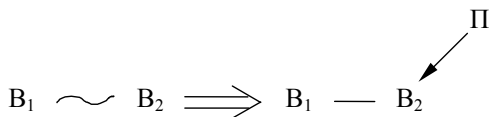
« $\Rightarrow$ » – переход от «дано» к «получено».

В вепольных формулах вещества надо записывать в строчку, а поле – сверху и снизу строки.

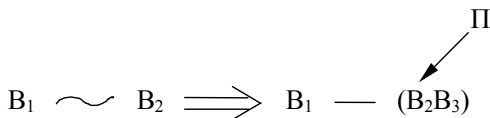
Веполь – это система из трёх элементов, двух веществ и поля, которая в технике играет такую же роль, как треугольник в геометрии. Зная правила построения и преобразования веполей, можно легко решать многие изобретательские задачи. В АРИЗе широко используется вепольный анализ с целью преобразования и развития технических систем. Вепольный анализ проводится с применением правил построения и преобразования веполей, что позволяет в определённой степени формализовать действия изобретателя.

*Правило достройки.* Для повышения эффективности и управляемости достроить имеющуюся систему до полного веполя, состоящего из трёх элементов – двух веществ и поля. Например, после первичной деревообработки возникает задача разделения коры и щепы, которые являются одинаковыми по плотности. Рассмотрим эту задачу, относящуюся к четвёртому уровню сложности, с позиций вепольного анализа. Даны два вещества и для построения веполя недостаёт поля. Огромное поисковое пространство резко сужается, поскольку поля сильных и слабых взаимодействий следует отбросить, как приводящее к слишком сложным решениям, а гравитационное поле не приемлемо по причине одинаковой плотности веществ. Остаётся электромагнитное поле; причём с учётом того, что вещества не взаимодействуют с электромагнитным полем, то остаётся

только электрическое поле. Эксперимент показывает, что в электрическом поле щеп и кора приобретает различные заряды и легко сепарируются. Вепольная формула решения этой задачи записывается в виде



В случае решения задачи способом предварительной обработки коры ферромагнетиком  $V_3$  вепольная формула решения имеет вид:



Таким образом, во всех рассмотренных примерах второе вещество и поле добавляют для того, чтобы поле через второе вещество воздействовало на первое вещество или наоборот, чтобы первое вещество через второе давало на выход поле, несущее информацию.

В решениях этих задач присутствуют три «действующих лица»: вещество  $V_1$ , которое надо менять, обрабатывать, перемешивать, обнаруживать, контролировать и т.д.; вещество  $V_2$  – «инструмент» осуществляющий необходимые действия; поле  $\Pi$ , которое даёт энергию, т.е. обеспечивает воздействие веществ друг на друга.

*Правило развития веполя.* Оно формулируется как совокупность следующих приёмов.

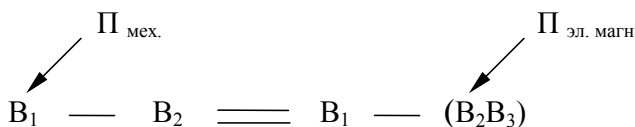
а) с увеличением степени дисперсности  $V_2$  (инструмента) эффективность веполя повышается;

б) действие поля на  $V_2$  (инструмент) эффективнее действия на  $V_1$  (изделие);

в) электрические (электромагнитные, магнитные) поля в веполях эффективнее не электрических (механических, тепловых).

Например, регенерацию фильтра, работающего с забивкой пор, традиционно осуществляют путём обратной его продувки, что часто не даёт желаемого результата и связано с дополнительными затратами энергии. Исходная система представляет собой полный веполь, в котором имеет место воздействие поля сил гидродинамического давления на вещество  $V_1$  (пыль), а не на инструмент (фильтр), являющийся монолитом. Применяя правило развития веполя, инструмент (фильтр) изготавливают из ферромагнитного порошка требуемой дисперсности, на который воздействуют в период регенерации электромагнитным полем. Таким образом, решение задачи достигнуто путём применения всех трёх приёмов развития веполя, поскольку повышена дисперсность инструмента, использовано электро-

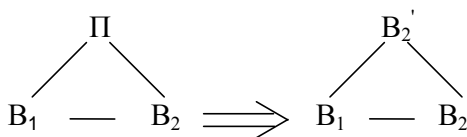
магнитное поле для воздействия на инструмент, а не на вещество. В вепольной формулировке решение задачи записывают в виде



*Правило разрушения веполя.* Это правило используется при решении изобретательских задач, в которых требуется устранить вредное взаимодействие двух объектов. Веполь можно разрушить различными способами.

Анализ большого числа задач на разрушение веполя показал, что самым эффективным решением оказывается введение вместо поля третьего вещества, являющегося видоизменением одного из двух имеющихся.

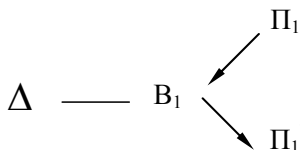
Третье вещество должно быть обязательно видоизменением одного из двух имеющихся, поскольку «чужое» вещество будет «отторгнуто» в посторонней для него системе. Третье вещество не должно привносить в систему никаких осложнений. Например, при протяжке кальки по оргстеклу в светокопировальных аппаратах вследствие электризации возникают большие усилия протяжки со всеми пагубными последствиями. Исходная система представляет собой полный веполь с вредным взаимодействием, который необходимо разрушить. Пользуясь правилом разрушения веполя, в систему вводят третье вещество (кусочек кальки), которое является видоизменением имеющегося вещества (рулонной кальки). Кусочек кальки закладывается между оргстеклом и рулонной калькой. При этом происходит замена трения кальки об оргстекло на трение кальки о кальку, вследствие чего предотвращается образование нежелательных электростатических зарядов на трущихся элементах системы. Вепольная формула решения этой задачи имеет вид



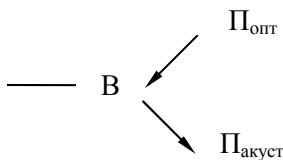
*Правило построения цепных веполей.* Часто приходится решать задачи, в которых противоречие возникает из-за того, что нужно сохранить имеющийся веполь и в то же время ввести новое взаимодействие. В этом случае целесообразно использовать правило построения цепных веполей.

Суть решения при этом состоит в том, что  $\text{В}_2$  (инструмент) разворачивается в веполь, присоединённый к имеющемуся веполю. Иногда  $\text{В}_3$  разворачивается в новый веполь. Очень часто это правило используется в задачах на измерение и обнаружение. В этом случае веполь должен иметь на выходе поле, которое легко обнаружить и измерить. Примером исполь-

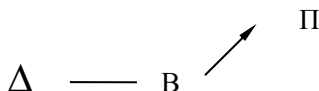
зования правила построения цепных веполей могут быть рассмотренные ранее задачи на обнаружение мест утечек в холодильных агрегатах, заполняемых фреоном и маслом и определения степени размягчения (затвердевания) полимерного состава. В обеих задачах для решения проблемы к исходной системе, которая может быть представлена в виде полного веполя, добавляется новое вещество (люминофор, порошок ферромагнетика) и поле (ультрафиолетовое излучение, электромагнитное поле). Решение этих задач в веполевой форме в соответствии с правилом построения цепных веполей записываются в следующем виде



Если вещество должно превращать одно поле в другое (как в случае с ультрафиолетовым излучением), то имеют дело с физическим эффектом, название которого образуется соединением названий двух полей. Например, оптико-акустический эффект записывается как



В отдельных редких случаях вещество может давать поле на выходе, что в веполевой формулировке записывается в следующем виде:



#### 4.5. ТАКТИКА ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

Процесс изобретательского творчества начинается с выявлением и анализа изобретательской ситуации. Изобретательская ситуация – такая технологическая ситуация, в которой отчётливо выделена неудовлетворяющая особенность.

Практика решения изобретательских проблем показывает, что одна и та же проблема порождает разные изобретательские задачи. Для изобретателя особенно – в задачи минимальные и максимальные.

Максимальная задача получается предельным снятием ограничений: исходную систему разрешается заменить совершенно иной системой.

Всякая задача должна содержать указания на то, что дано и что требуется получить. «Дано» и «требуется» могут быть изложены в произвольной форме. Часто «дано» содержит избыточные сведения и не содержит необходимых. «Требуется» обычно сформулировано в виде административного или технического противоречия, но неполного, нечёткого и иногда вообще неверного. Поэтому решение должно начинаться с построения модели задачи, которая должна предельно упрощенно, но вместе с тем точно отражать суть задачи; а именно: техническое противоречие и элементы технической системы, конфликт между которыми создаёт противоречие.

Например, при изготовлении предварительно напряжённого железобетона фиксирование арматуры электротермическим способом приводит к тому, что при нагреве до 700 °С проволока теряет механические свойства. Требуется устранить этот недостаток.

Для указанной задачи модель может быть записана в следующем виде. Даны тепловое поле и металлическая проволока. При нагреве до 700 °С проволока получает необходимое удлинение, но теряет прочность.

При построении модели задачи используются термины вепольного анализа: «вещество», «поле», «действие». Это позволяет сразу, ещё до решения, представить себе решение в вепольной форме.

Существуют правила, позволяющие точно строить модель задачи. Так в пару конфликтующих элементов обязательно должно входить изделие. Вторым элементом чаще всего бывает инструмент, иногда – второе вещество. Модель не должна отражать всей технической системы, а быть только схемой «больного места» системы.

Если сами задачи классифицировать чрезвычайно трудно, то их модели легко поддаются классификации. В основу классификации положена вепольная структура исходной технической системы. В зависимости от числа элементов в исходной системе изобретательские задачи разделяются на три типа 1 – один элемент; 2 – два элемента, 3 – три и более элементов. Каждый тип делится на классы в зависимости от того какие элементы даны (вещества, поля), как они связаны и можно ли их менять.

Задачи первого типа всегда и обычно достаточно легко решаются с применением метода достройки веполя. задачи третьего типа без особых затруднений переводятся в задачи первого и второго типов (например, веполь можно рассматривать как один элемент).

Поэтому классические изобретательские задачи – это задачи второго типа.

### ***Основные механизмы устранения противоречий***

В АРИЗ используются четыре механизма устранения противоречий:

1) переход от исходной технической системы, изложенной в модели задачи, к идеальной системе путём формулировки идеального конечного результата (ИКР);

- 2) переход от технических противоречий к физическим;
- 3) использование вепольных преобразований для устранения физических противоречий;
- 4) применение системы операторов, использующих эффективные способы преодоления противоречий ( типовые изобретательские приёмы, таблицы применения физических эффектов).

Идеальное решение, ИКР (идеальный конечный результат) – по сути наиболее сильное из всех мыслимых и немыслимых решений. Тактика решения с формулировкой ИКР требует по возможности неотступного следования к намеченному идеалу.

ИКР формулируют по простой схеме: один из элементов конфликтной пары сам устраняет вредное действие. Например, тепловое поле удлиняет проволоку и само предотвращает её порчу.

Переход к ИКР отсекает без перебора все решения низших уровней и оставляет только самые сильные варианты. Дальнейший отсев вариантов происходит при формулировке физического противоречия. Например, тепловое поле нагревает проволоку, чтобы она удлинялась и не нагревает её, чтобы она не портилась.

Переход от физического противоречия к решению облегчается применением вепольного анализа. Например, в рассмотренной задаче должно вводиться новое вещество, которое по условиям ИКР приводит к вепольному противоречию. Это противоречие записывается по схеме: второе вещество должно быть, чтобы построить веполь, и его не должно быть, чтобы не отступать от условия ИКР. Такая часто встречающаяся при вепольном анализе ситуация может быть преодолена путём использования принципа раздвоения вещества. Принцип раздвоения вещества состоит в том, что в качестве второго вещества берут часть первого или его видоизменения. Возьмём, например, две проволоки, одна из которых нагревается и передаёт удлинение второй, не нагревая её, т.е. применить принцип электротермического домкрата.

Нередко построение модели, формулирование противоречий и вепольный анализ не дают решения. В таком случае при решении задачи необходимо перейти к операторам преобразования технической системы ( типовым изобретательским приёмам, таблицам применения физических эффектов).

АРИЗ условно разделяется на части, например АРИЗ последних модификаций состоит из семи частей:

- 1) выбор задачи;
- 2) построение модели задачи;
- 3) анализ модели;
- 4) устранение физического противоречия (ФП);

- 5) предварительная оценка решения;
- 6) развитие ответа;
- 7) анализ хода решения и внесения корректив в АРИЗ.

Построение модели, выявление ИКР и ФП регламентируются второй и третьей частями АРИЗ, которые вместе с четвёртой частью, предполагающей использование информационного аппарата АРИЗ, несут основную нагрузку при решении задачи.

Содержание отдельных частей АРИЗ с указанием методологии выполнения операций на каждом этапе изложены в специальной литературе.\*

На примере решения конкретной задачи познакомимся в общих чертах с тем, как идёт решение.

1. В разделе «Выбор задачи»:

- а) определяется конечная цель задачи и возможные обходные пути её решения;
- б) производится выбор между прямыми и обходными путями решения задачи;
- в) уточняется задача с учётом конкретных условий и патентной информации.

2. На стадии «Построения модели задачи»:

- а) записываются условия задачи без использования специальных терминов;
- б) выделяется конфликтующая пара элементов;
- в) записываются взаимодействия конфликтующей пары: имеющиеся и требуемое (полезное и вредное).

Например, шлифовальный круг плохо обрабатывает изделия сложной формы, имеющие выпуклости и впадины, например лопасти турбины. Осуществить замену шлифования на другие виды обработки невыгодно и сложно (ледяные круги – дороги, эластичные – недостаточно надёжны).

Модель: обрабатываемое изделие – лопасть, инструмент – шлифовальный круг непосредственно взаимодействующий с изделием. Таким образом, в задаче имеем два взаимодействия:

- 1) круг обладает способностью шлифовать;
- 2) круг не обладает способностью приспосабливаться к криволинейным поверхностям.

Модель: даны круг и изделие. Круг хорошо шлифует, но не приспосабливается к криволинейной поверхности.

3. На стадии «Анализ модели задачи» предполагается:

- а) выбрать элемент, который легко можно изменять;

---

\* Альтшуллер, Г. С. Творчество как точная наука. – Москва : Советское радио, 1979.

- б) записать ИКР в стандартной формулировке;
- в) сформулировать противоречивые физические требования к свойствам элемента или его некоторой части;
- г) записать физическое противоречие.

Таким образом, для рассматриваемого примера на этой стадии можно записать следующее:

- а) форму изделия менять нельзя, а круг можно менять;
- б) ИКР: круг сам приспособливается к криволинейной поверхности, сохраняя способность шлифовать;
- в) чтобы шлифовать, наружный слой круга должен быть твёрдым;
- г) чтобы приспособливаться к криволинейным поверхностям, наружный слой не должен быть твёрдым;
- д) ФП: наружный слой круга должен быть твёрдым, чтобы шлифовать, и не должен быть твёрдым, чтобы приспособливаться к поверхности изделия.

4. На стадии «Устранение физического противоречия» следует:

- а) рассмотреть простейшие преобразования выделенного элемента с целью разделения противоречивых свойств: например во времени, в пространстве;
- б) использовать таблицу типовых моделей задач и вопольных преобразований;
- в) использовать таблицу применения физических эффектов и явлений;
- г) использовать таблицу основных приёмов устранения технических противоречий;
- д) перейти от физического противоречия к техническому.

В рассматриваемом примере простейшие преобразования не дают решения. К ИКР можно прийти, используя известные нам правила преобразования вопелей: достройки и развития вопелей. В соответствии с этими правилами следует:

- 1) ввести поле, лучше магнитное;
- 2) повысить степень дисперсности инструмента и ввести третье вещество – ферромагнитный порошок.

Если в соответствии с типовым решением вещество  $B_2$  – инструмент (в нашем случае шлифовальный круг) просто разделить на отдельные части (для повышения степени дисперсности), то они разлетятся под действием центробежной силы. Для того чтобы центральная часть круга держала наружную, необходимо источник магнитного поля разместить на оси вращения.

Если использовать таблицу применения физических эффектов и явлений (табл. 4), то получится аналогичный результат. Например, по Альтшуллеру рассматриваемая задача относится ко второму типу и классу 4. По таблице эффектов подходит пункт 17 – замена «вещественных» связей полевыми путём использования электромагнитных полей.













Таблица применения технических приёмов даёт прямое указание на изменение агрегатного состояния – «ожидание», псевдоожидание и использование магнитного поля и магнитных частиц.

Переход к техническому ответу позволяет получить решение: центральная часть круга выполнена из магнитов, наружный слой – из ферромагнитных частиц или абразивных частиц спечённых с магнитными. Такой слой примет форму изделия, сохранить твёрдость для шлифовки.

Работа на оставшихся 5 – 7 этапах АРИЗ имеет целью провести анализ полученного результата и зафиксировать полученный опыт с тем, чтобы сделать его полезным для дальнейшей деятельности.

5. На стадии оценки полученного результата дают ответы на следующие вопросы:

а) Соответствует ли полученное решение ИКР (элемент сам...)?

б) Существует ли возможность управления?

в) Есть ли патентная новизна и др.?

6. Стадия развития полученного ответа имеет целью извлечь максимальную пользу от найденного решения. Что, если всё сделать наоборот или поменять местами и т.д.?

7. На завершающем этапе анализ хода решения осуществляется путём сравнения реального хода с теоретическим, определения оригинальных моментов в процедуре решения задачи и дополнения существующих таблиц и методов преобразования веполей.

## 5. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРАКТИКИ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА

---

Одной из важнейших сфер инженерной творческой деятельности является изобретательская работа. В настоящее время без активной изобретательской деятельности невозможно поддерживать высокий уровень технологии производств, обеспечивающий выпуск продукции, конкурентоспособной на мировом рынке. Это связано с возросшими темпами совершенствования техники и технологии, обострением конкуренции и развитием форм охраны авторских прав. «История развития человечества – это прежде всего история изобретения». В наши дни общество нуждается в хороших изобретениях ещё больше, чем прежде: природные ресурсы истощаются, а треть быстро растущего мирового народонаселения страдает от недоедания и недостатка воды. Потребность в изобретениях ещё в большей мере усиливается в связи с резким обострением экологической проблемы.

Изобретательская работа – специфическая сфера деятельности, требующая специальных знаний и навыков. Среди теоретических вопросов, знание которых необходимо для успехов в изобретательстве, наиболее важными являются: критерии охраноспособности изобретения (техническое решение, новизна, существенные отличия, положительный эффект), понятие об объекте изобретения, формуле изобретения и секреты «ноу хау». Подробную информацию по перечисленным вопросам за исключением последнего можно найти в многочисленной специальной литературе. Фактически непроработанными в отечественной изобретательской практике оказались вопросы «ноу хау», которые становятся в настоящее время не менее важными среди перечисленных».

Предполагаемые изобретения выявляются авторами и специалистами из ряда технических решений, получаемых при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских, проектных работ и в рационализаторской практике. Все предполагаемые изобретения должны быть документально оформлены заявками на изобретения, которые направляются на рассмотрение государственной патентной экспертизы.

В литературе наиболее часто рекомендуется следующий порядок составления заявки на изобретение. Сначала выбирается прототип и на его основе составляется формула изобретения. В литературе наиболее часто рекомендуется следующий порядок составления заявки на изобретение. Сначала выбирается прототип и на его основе составляется формула изобретения.

*Формула изобретения.* Права, которые даёт авторское свидетельство, защищают надёжно только в том случае, если предмет изобретения (т.е. его суть) не только правильно выявлен, но и чётко изложен. Существ-

вующие правила требуют изложения предмета изобретения в виде формулы изобретения, являющейся единственным критерием для определения объёма изобретения и краткой словесной характеристикой, выражающей техническую сущность изобретения.

Формула изобретения состоит из названия изобретения, дополненного перечнем признаков, позволяющих из всей массы аналогичных объектов выделить те, на которые распространяются права изобретателя. Принятая система изложения признаков изобретения предусматривает разделение формулы на две части словом «о т л и ч а ю щ и й с я». В первой части формулы перечисляются основные признаки, общие для изобретения и его прототипа, называемые ограничительными. Во второй части формулы приводится цель изобретения, перечисляются новые, отсутствовавшие у прототипа, но имеющиеся у изобретения признаки, называемые отличительными.

Между количеством признаков в формуле изобретения и объёмом прав изобретателя существует обратная зависимость, а между объёмом понятий, излагающих признаки, и объёмом прав изобретателя – прямая зависимость. Иными словами, чем больше признаков перечислено в первом пункте формулы и чем они уже, конкретнее, тем меньше объектов подпадает под это логическое определение и, следовательно, тем меньше объём прав автора. И наоборот, чем меньше признаков в первом пункте формулы, чем более широкими терминами они описаны, тем шире круг подпадающие под формулу объектов и больше объём прав автора.

*Формула устройства.* К устройствам относятся изобретения, характеризующиеся чаще всего конструктивными признаками. Такими признаками являются упоминания о наличии узла, детали, их геометрической форме, взаимном расположении в пространстве узлов и деталей или их взаимосвязи. Абсолютные размеры деталей, чистота обработки их поверхности и другие аналогичные особенности устройства, как правило, не могут быть признаками изобретений. Относительные же размеры, количество отдельных деталей и материал, из которого они выполнены, не являясь в большинстве случаев существенными признаками, могут быть таковыми, если это придаёт объекту новые качества, отсутствовавшие ранее, и даёт положительный эффект.

В формулах изобретений-устройств конструктивные признаки должны быть изложены в виде существительных, прилагательных, взаимосвязи между ними – в виде кратких причастий. Действия не могут служить признаками этих изобретений. Поэтому в формулах, описывающих устройства, следует избегать глаголов, так как их наличие свидетельствует о возможности подачи заявки на способ. При необходимости действия могут быть описаны причастиями, отглагольными существительными или же глаголами, но употребляемыми только в придаточных предложениях.



Электрические, радиотехнические и другие схемы относятся, так же как и изобретения-конструкции, к устройствам. Изобретения такого вида характеризуются схемными признаками, к числу которых относятся названия блоков, узлов, деталей, их взаимосвязи и другие существенные особенности. Взаимосвязи в схемных изобретениях могут быть описаны и при помощи глаголов.

В изобретениях-устройствах необходимо избегать употребления самих терминов «конструкция», «схема», так как они не несут никакой смысловой нагрузки. Применение же в формуле термина «устройство» вполне допустимо, а во многих случаях даже необходимо,

Формула изобретения-устройства должна отвечать на вопрос «Как устроено?» и описывать объект в статическом состоянии.

*Формула способа.* Под способом в патентоведении подразумевается действие или совокупность действий, выполняемых для достижения некоторой цели. Таким образом, способом будет являться всякий технологический или «производственный» процесс. В практике отечественного патентования не принято именовать такие изобретения «методами» или «процессами», хотя подобные термины и встречаются в зарубежных патентах. В Российской Федерации такими методами принято называть, например, методы расчётов, обучения языкам, т.е. новшества, не подлежащие охране авторскими свидетельствами и патентами.

Поскольку способ представляет собой совокупность действий, то он и характеризуется перечнем действий, их особенностями и порядком. При этом в ограничительной части формулы действия, как правило, описываются отглагольными существительными (реже глаголами), а в отличительной части – глаголами. Для этого употребляются глаголы действительного залога изъявительного наклонения в третьем лице множественного числа («применяют», «поддерживают», «наносят» и т.п.).

Признаком такого изобретения может служить упоминание о необходимости какой-либо операции, порядка выполнения операций или других их особенностей (температуры, давления и т.д.). Иногда признаками считаются упоминания о необходимости применения определённых устройств или веществ.

*Формула вещества.* К веществам относятся объекты, изобретательского характера, для которых существенным является, не внешняя форма, а их состав. К этому виду изобретений принадлежат суспензии, эмульсии, металлы и т.д.

Изобретениями признаются вещества, полученные как физическим, так и химическим путём. На вещества, полученные химическим путём, в Российской Федерации выдаются только авторские свидетельства, но не патенты.

Признаками веществ, полученных физическим путём, служат упоминание о наличии в веществе определённого ингредиента или указание

предельных границ его относительного содержания в веществе (например, от 1 до 9%). Иногда признаком изобретения является указание на особенности структуры компонента в веществе («шаровидный графит», «в пылевидном состоянии» и т.п.).

Формула изобретения, защищающая химическое соединение, состоит из номенклатурного названия вещества, его структурной формулы и назначения вещества. Согласно инструкциям, признаками, характеризующими химическое соединение, являются его качественный состав (атомы определённого элемента), количественный состав (число атомов каждого элемента), химическая связь между атомами и их взаимное расположение в молекуле.

Признаками, характеризующими полимеры (высокомолекулярные соединения), являются химический состав, структура одного звена макромолекулы (молекулы мономера), структура макромолекулы в целом (линейная, нелинейная, линейная с разветвлениями, сшитая, разветвление молекулы, стереорегулярность), молекулярный вес (молекулярная масса).

*Формула изобретения на применение.* Изобретением может быть признано применение известных устройств, способов и веществ по новому назначению. Изобретение на применение должно соответствовать всем признакам охраноспособности изобретения. Формула изобретения на применение излагается по-особому. Она начинается словом «применение», далее указываются известный объект и его новое назначение. Между известным объектом и его новым назначением ставятся слова «для» или «в качестве». Цель изобретения, как правило, не указывается, поскольку она определяется новым назначением объекта. Если же при новом применении объекта достигается специфический для данного случая положительный эффект, то в этом случае цель изобретения следует указать. Формула изобретения на применение имеет общий вид: применение  $A$  в качестве (для)  $N$  (с целью  $Z$ ).

В качестве названия изобретения на применение употребляется его новое назначение.

Кроме вышеперечисленных видов объектов (устройства, способа, вещества и применения) изобретениями также признаются новые штаммы микроорганизмов (бактерий, вирусов, дрожжей, микроскопических грибов и водорослей). Формула изобретения штамма составляется в виде описания внешнего вида колоний микроорганизмов и биохимических свойств этого штамма.

*Формула группы изобретений.* Для формулы группы изобретений заявка на выдачу авторского свидетельства или патента должна относиться к одному изобретению или к группе изобретений, связанных между собой настолько, что они образуют единый общий изобретательский замысел.

Существует три типа групп изобретений:

- 1) группы, включающие изобретения, относящиеся к объектам, один из которых предназначен для получения, осуществления или использования другого объекта;
- 2) группы, включающие варианты решения, которые не могут быть охвачены одним пунктом формулы изобретения;
- 3) группы, включающие решения, касающиеся целого объекта и его части.

Эти группы изобретений не исчерпывают всех случаев объединения изобретений общим изобретательским замыслом. Анализ практики государственной научно-технической экспертизы показывает, что возможны и другие разновидности групп изобретений. Для типов групп, указанных в нормативных актах, нет необходимости доказывать наличие единства изобретательского замысла. Достаточно лишь подвести тот или иной частный случай под один из трёх вышеуказанных типов. Для других типов групп изобретений необходимо каждый раз доказывать наличие единого, общего изобретательского замысла.

Формулы, защищающие группы изобретений, являются многозвенными и содержат два или более независимых пунктов, соответствующих отдельным изобретениям, входящим в группу. К каждому независимому пункту могут присоединяться зависимые пункты, защищающие факультативные признаки изобретений.

Защита одним авторским свидетельством группы из двух или более изобретений по правовым последствиям равносильна выдаче отдельных охраняемых документов на каждое из этих изобретений.

## 5.1. ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Ошибки, допущенные при составлении описания изобретения в момент подачи заявки, трудно, а иногда даже невозможно, исправить впоследствии. Неправильно составленное описание удлинит сроки рассмотрения заявок, приводит к длительной переписке между заявителем и органом экспертизы и часто является причиной отказа в выдаче авторского свидетельства.

Правильно составленное описание помогает вынесению объективно-го решения, ускоряет рассмотрение заявки, обеспечивает возможность быстрого и широкого внедрения изобретения.

При составлении заявки следует чётко представлять себе особенности описания изобретения по сравнению с другой научно-технической документацией. Эти особенности диктуются прежде всего целевым назначением описания, которое носит одновременно информационный правовой характер. Необходимо, чтобы этот документ отвечал следующим требованиям:

а) полное раскрытие технической сущности изобретения в объёме, достаточном для дальнейшей разработки и использования;

б) точное и ясное представление о новизне, существенных отличиях и положительном эффекте технического решения, а также о вкладе, внесённом изобретением в данную отрасль техники или отрасль народного хозяйства.

Определить границы прав изобретателя и охарактеризовать новизну изобретения удобнее всего, изложив состояние решения данной технической задачи до и после творчества изобретателя. Различие между этими двумя уровнями техники и будет характеризовать новизну изобретения. Для лучшего раскрытия сущности изобретения его описание строится по принципу «от общего к частному», т.е. начинается самыми общими определениями и заканчивается конкретными примерами.

В описании должно быть раскрыто решение не конкретного материального объекта, а задачи. Это решение будет применяться не на одном объекте, а на некотором их множестве, причём часть этих объектов в момент составления описания ещё не известна.

Безусловно, трудно предвидеть развитие техники и предугадать, какие объекты появятся в будущем. Но достичь распространения прав заявителя на максимальное количество новых объектов можно, накладывая поменьше ограничений на изобретение.

Это достигается изложением в качестве обязательных признаков только самых необходимых особенностей изобретения, широкой формулировкой этих признаков.

Особенностью работы по составлению описания изобретения является так же то, что это составление необходимо проводить с учётом формулы изобретения, с тем, чтобы описание служило обоснованием формулы. Для этого надо сначала составлять формулу изобретения, а затем его описание.

С полным комплексом требований, предъявляемым к формуле изобретения, можно познакомиться, обратившись к специальной литературе. Затем техническое решение классифицируется по МКИ (международный классификатор изобретений) и проводится патентно-информационное исследование, в соответствии с которым определяются аналоги и уточняется прототип. Если прототип претерпел существенное изменение, уточняют формулу изобретения и лишь после этого приступают к составлению описания и других заявочных материалов.

Перечень заявочных материалов и требования к ним изложены в указаниях по составлению заявки на изобретение. С особой тщательностью следует подходить к составлению описания изобретения, поскольку ошибки, допущенные при его составлении, трудно, а часто и невозможно исправить после пересылки материалов на экспертизу. Эти ошибки удли-

няют сроки рассмотрения заявок и нередко являются причиной отказа в выдаче авторского свидетельства. Кроме того, необходимо учесть, что описание, оформленное с большими ошибками, вообще не принимается к рассмотрению и только в течение двух месяцев после подачи заявитель имеет право вносить изменение, не изменяя сущности заявки.

При составлении заявки необходимо постоянно помнить, что она представляет собой специфическую научно-техническую документацию, имеющую не только информационный, но и правовой характер. В связи с этим, заявка должна отвечать следующим основным требованиям:

- а) полностью раскрывать техническую сущность изобретения в объёме, достаточном для использования;
- б) давать точное и ясное представление о новизне, существенных отличиях и положительном эффекте технического решения.

Заявки, направленные в РОСПАТЕНТ, проходят стадию предварительной экспертизы, на которой делается заключение о формальном соответствии представленной документации, требованиям, предъявляемым к технической документации на предполагаемое изобретение. Успешное прохождение предварительной экспертизы фиксируется приоритетной справкой, выдаваемой отделом предварительной экспертизы РОСПАТЕНТА заявителю.

Затем материалы заявки попадают в отраслевой отдел РОСПАТЕНТА на научно-техническую экспертизу. Государственная научно-техническая экспертиза определяет, можно ли признать заявленное техническое решение изобретением. В соответствии с действующим положением экспертиза должна быть проведена в срок, не превышающий шести месяцев со дня приоритета заявки. К этому времени экспертиза обязана мотивированно принять один из трёх вариантов решения:

- 1) признать заявленный объект изобретением;
- 2) отказать в выдаче авторского свидетельства;
- 3) запросить от заявителя дополнительные материалы.

При экспертизе заявок часто возникают разногласия между экспертизой и заявителем, что приводит к необходимости переписки между ними. При этом необходимо понимать объективную необходимость переписки и проводить её в форме корректного и серьёзного научно-технического спора, стремясь к максимальной аргументированности приводимых доказательств.

Если в результате споров стороны не приходят к общей точке зрения на заявленное техническое решение, материалы заявки передаются на контрольную экспертизу в Контрольный совет государственной научно-технической экспертизы.

При переписке авторов с экспертизой они должны, как правило, доказать охраноспособность изобретения по одному или нескольким из следующих четырёх критериев:

- 1) технический характер решения (техничность);
- 2) новизна;
- 3) положительный эффект;
- 4) существенность отличий.

Следует обратить внимание авторов, что по статистике «значительный процент технических достижений остаётся без необходимой защиты авторскими свидетельствами... не потому, что на них не подавались заявки, а из-за неправильной или неумелой аргументации охраноспособности». В настоящее время отсутствуют доступные широкому кругу читателей методические материалы, в связи с чем представляется целесообразным в рамках настоящих указаний привести некоторые из основных рекомендаций практики доказательства соответствия заявленного технического решения критериям изобретения.

## 5.2. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО НОВИЗНЫ

Решение признаётся новым, если до даты приоритета заявки сущность этого или тождественного решения не была раскрыта в России или за границей для неопределённого круга лиц настолько, что стало возможным его осуществление» [16]. Для опровержения тезиса о новизне предполагаемого изобретения экспертиза должна указать источник, порочащий эту новизну, процитировать соответствующую часть текста или сокращённо пересказать содержание.

В ответе заявителя экспертизе новизна изобретения может быть обоснована доказательством того, что:

- 1) противопоставленный источник имеет дату более позднюю, чем дата приоритета заявки;
- 2) противопоставляемый источник известен лишь ограниченному кругу лиц (например, чертежи или другие материалы, доступные лишь в связи со служебным заданием; закрытое использование объекта; заявка в России, по которой было вынесено отказное решение);
- 3) объём раскрытия не позволяет осуществить изобретение.

Важно отметить, что в случае противопоставления источника, порочащего лишь частично новизну предложенного решения, спор должен вестись не по линии доказательства – опровержения новизны, а по существенности отличий. Экспертиза же зачастую, приведя доказательство частичного отсутствия новизны, отрицает наличие любой новизны.

При изложении притязаний в виде многозвенной формулы эксперт обязан рассматривать охраноспособность не только первого, но и всех последующих пунктов формулы. Следовательно, если в заявке изложена многозвенная формула изобретения, она должна быть рассмотрена полностью.

Новизна последующих пунктов должна рассматриваться в совокупности с предшествующими, и все пункты многозвенной формулы должны охватываться единым изобретательским замыслом.

Поскольку описание иногда используется для толкования объёма прав, определяемых формулой изобретения, целесообразно в описание вставлять так называемые расширительные абзацы, которые обычно даются в нескольких разделах описания, что позволяет зафиксировать «широту» притязания заявителя. Кроме того, такие расширительные абзацы могут оказать предостерегающее воздействие по отношению к потенциальным нарушителям патента и оказать влияние на судей и судебных экспертов при рассмотрении споров об установлении факта использования изобретения.

Согласно п. 70 Указаний по составлению заявки на изобретение (ЭЗ-1–74) описание изобретения должно быть составлено в соответствии с формулой изобретения. Если примеры в описании не поддерживают притязания в достаточном объёме, то новизна изобретения рассматривается только в объёме, обоснованном в примерах.

Иногда в споре с заявителем экспертиза необоснованно отрицает новизну изобретения, сначала расширяя притязания заявителя, а затем доказывая известность объекта, подпадающего не под действительные, а под расширенные притязания.

Новизна изобретения должна быть выявлена правильно и в полном объёме. Неполное выявление новизны наносит ущерб защите государственного и авторского приоритета на изобретения.

### 5.3. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА

Положительный эффект – это новый, более высокий результат, который общество получает при использовании изобретения по сравнению с тем результатом, который оно получает от объекта-прототипа (аналогичного предшественника: соответственно устройства, способа, вещества). Следовательно, доказательство данного критерия охраноспособности заключается в сравнении результатов, которые получает или может получить общество от изобретения и от прототипа или аналога, т.е. изобретение должно сравниваться по эффекту с прототипом и с наиболее эффективным аналогом (если таковым не является прототип). Доказательство должно опираться на экспериментальные или теоретические данные. Результаты экспериментов подтверждаются актом испытаний, теоретические расчёты могут быть приведены в виде отдельного приложения. Голословных утверждений, не подтверждённых ни экспериментами, ни расчётом, следует избегать. Требования обязательного проведения испытаний других изобретений, если их положительный эффект может быть доказан теоретически, не вытекают из норм изобретательского права.

В соответствии с пп. 68, 69 Указаний ЭЗ-1–74 данные о технико-экономической или иной (медицинской, социальной и т.д.) эффективности излагаются в конце описания изобретения. Необходимо указать, каким путём эти данные будут получены. С них должны быть также увязаны цели, указанные в формуле изобретения, и соответствующие разделы описания (критика прототипа, цель изобретения, сущность изобретения).

В переписке экспертизы с заявителем иногда по ошибке используется применительно к изобретениям понятие «полезность» вместо «положительный эффект». Между тем это различные понятия, и критерий «полезность» требуется только от рационализаторских предложений, но не от изобретений (однако, охраноспособность изобретения может отрицаться ввиду его явной бесполезности).

В соответствии с п. 65 Указаний «предложение признаётся полезным, если его использование на данном предприятии, в организации и учреждении в условиях, которые существуют или должны быть созданы в соответствии с утверждёнными планами, позволяют получить экономический, технический или иной положительный эффект». Следовательно, полезность – это положительный эффект плюс целесообразность использования. Рационализаторское предложение нельзя признать таковым без принятия его к использованию. Положительный эффект от изобретения может быть получен в любых, а не только существующих или запланированных условиях.

Для простых устройств экспериментальные доказательства их осуществимости и эффективности необязательны. Допускается патентование и перспективных изобретений, использование которых окажется возможным лишь в будущем, при достижении некоторых условий.

При доказательстве положительного эффекта не следует преувеличивать достоинства изобретения или излагать доводы, вызывающие сомнение, так как это может помешать объективной экспертизе, вызвать отказ в выдаче охранного документа, а в случае публикации в описании послужит основанием для аннулирования.

#### 5.4. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВЕННОСТИ ОТЛИЧИЙ

«Техническое решение задачи признаётся обладающим существенными отличиями, если по сравнению с решениями, известными науке и технике на дату приоритета заявки, оно характеризуется новой совокупностью признаков, позволяющей получить положительный эффект». Из анализа этого определения следуют три вывода.

Во-первых, доказательством существенности отличий служит получение положительного эффекта от новой совокупности признаков, а не от каждого признака в отдельности.



Иными словами, речь идёт о положительном эффекте, который остаётся в результате вычитания из эффекта изобретения не только эффекта прототипа, но и эффекта, создаваемого отличиями, когда они использованы в других известных науке и технике объектах. Следовательно, существенность отличий доказывается наличием сверхсуммарного эффекта у новой совокупности дискретных признаков, входящих в формулу изобретения, или скачкообразным изменением эффекта для количественных отличий.

Во-вторых, существенность отличий определяется по сравнению не только с прототипом и аналогами, но и со всеми другими решениями, известными науке и технике.

В-третьих, при определении существенности отличий принимается во внимание уровень знаний на дату приоритета заявки, а не дату её рассмотрения. Это имеет особенно важное значение в том случае, когда рассмотрение заявки затягивается.

В заявочном описании существенность отличий доказывается во второй части раздела «Сущность изобретения» после краткого изложения содержания изобретения. Заявители часто забывают об этом, хотя в п. 52 Указаний ЭЗ-1–74 записано, что «именно здесь должна быть показана существенность отличий, т.е. раскрыта связь между новой совокупностью признаков и тем положительным эффектом, который может быть достигнут при осуществлении изобретения» [16]. В случае многозвенной формулы даётся доказательство существенности отличий не только первого, но и последующего пунктов.

Доказательство существенности отличий должно опираться на примеры конкретного выполнения изобретения, на сведения, изложенные в заключении организации, а также в актах испытаний.

Количество и диапазон примеров, доказывающих существенность отличий, должны быть достаточны для подтверждения этого критерия во всем объёме притязаний. При количественных отличиях примеры должны охватывать как минимум, граничные значения интервала и оптимальное значение параметра. Для небольших интервалов достаточен один пример, для больших интервалов количество примеров лучше увеличить.

При составлении заявок на изобретения, намеченные для патентования за границей, следует учитывать необходимость доказательства по аналогичным критериям патентоспособности, используемым в зарубежных странах. В ряде стран таким критерием, соответствующим «существенности отличий», является требование «изобретательского уровня», который может подтверждаться следующими доводами:

1. Решение представляет собой скачок в развитии техники, а не одним из этапов постепенного её усовершенствования. Доказывается резким

улучшением качества объекта (кпд, скорости, производительности), значительно превосходящим приращение этих качеств предшествующими усовершенствованиями, или же появлением объекта совершенно новых качеств.

2. Неожиданность эффекта. Доказывается невозможностью прогнозирования эффекта на основе логических выводов или расчётов по известным формулам.

3. Решение охватывает новое направление в развитии науки техники. Доказывается отсутствием в литературе и практике сведений об этом направлении.

4. Решение достигнуто вопреки прочно установившемуся мнению специалистов. Доказывается цитированием авторитетных специалистов, отрицавших возможность достижения эффекта при работах в данном направлении.

После предыдущего наиболее удачного решения задачи в этом направлении прошло много времени (свыше 15 – 25 лет) и специалисты были убеждены в невозможности дальнейшего прогресса. Доказывается ссылкой на источники, подтверждающие дату и значимость предыдущего решения, и цитированием авторитетных специалистов.

Потребность в изобретении и условиях для его создания существует давно (более 10 лет), однако в литературе и производственной практике решение неизвестно. Доказывается сведениями потребности в данном решении и отсутствием этого в научно-технической литературе и в деятельности ведущих фирм.

Решение позволяет применить в данной области прогрессивную технику или технологию, известную в другой, весьма отдалённой области.

Наличие сверх суммарного эффекта совокупности дискретных признаков доказывается сравнением суммы эффектов отдельных признаков с эффектом от совокупности этих признаков, положительным значением разности эффекта совокупности и суммарного эффекта отдельно взятых признаков, наличием качественно нового эффекта совокупности признаков, отсутствующего у каждого отдельного признака и у их не полных субкомбинаций.

Скачкообразное приращение эффекта или появление качественно нового эффекта при изменении количественных признаков. Лучше всего доказывается графиком зависимости эффекта от количественного признака (признаков). График может быть построен по точкам, которые соответствуют экспериментам, охватывающим ряд значений признака (признаков) внутри и вне интервала притязаний. Эксперименты вне интервала притязаний являются как бы контрольными и необходимыми для доказательства изменения характера зависимости эффекта от количественного признака на границах притязаний.

Новизна, сложность и трудность задачи могут быть дополнительными доводами при доказательстве существенности отличий (изобретательского уровня). Однако сложность решения не может подтверждать эти критерии так же, как простота решения не является отрицанием его неочевидности.

Многие решения кажутся очевидными после того, как они сделаны, но почему-то в течение многих лет никто до них не додумывается и не применяет на практике, хотя они весьма эффективны.

## 5.5. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ТЕХНИЧНОСТИ РЕШЕНИЯ

Одним из критериев охраноспособности решения в России является его технический характер, или техничность. В общем виде техничность решения доказывается не областью его применения, а использованием в его отличиях одной из форм движения материи, относимых к технике при данном уровне развития общества. В настоящее время техническими признаются решения с механическими, химическими, физическими, или микробиологическими отличиями. Если же в отличиях решения используются биологические (за исключением микробиологических), психические или социальные явления, то такие решения не относятся к техническим.

Доказательство того, что решение носит технический характер, сводится к анализу отличий и раскрытию форм движения материи, лежащих в основе этих отличий. Для убедительного доказательства техничности особенно важен правильный выбор вида объекта заявляемого изобретения, т.е. определение того, является ли данный объект устройством, способом или веществом. Для установления вида объекта также необходимо анализировать его отличия от прототипа. Характер этих отличий оказывает решающее влияние на выбор вида объекта. В устройствах основные признаки, в том числе отличия, носят конструктивный или схемный характер, в способах – технологический, а в веществах – связаны с ингредиентами или строением молекул.

Чаще всего приходится доказывать техничность способа. Основными признаками способа являются действия. Наряду с техническими действиями в способах могут встречаться и «умственные шаги», т.е. действия, совершаемые человеческим мозгом. Это математические и логические операции. Практика государственной научно-технической экспертизы не отрицает техничности способов, если среди отличий одновременно имеются новые технические и «умственные шаги». Когда же новизна способа заключается не в технических, а только в «умственных шагах», то охраноспособность такого способа отрицается.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

---

1. Задача эксперимента и его виды.
2. Стратегия и тактика эксперимента. Постановка цели и задач исследования.
3. Погрешности измерений. Средства измерений и принципы их выбора.
4. Выборка и способы оценки её однородности.
5. Обработка результатов многократных измерений.
6. Косвенные измерения и способ оценки их погрешности.
7. Основные понятия системы метрологического надзора.
8. Методы поверки и градуировки средств измерений.
9. Научный отчёт, содержание и требования.
10. Математическое планирование экспериментальных исследований: предпосылки для использования метода, назначение, цели и задачи. Методы планирования.
11. Ортогональное планирование оптимального эксперимента. Требования к объекту исследования, целевой функции и факторам.
12. Функция отклика. Метод крутого восхождения и условия его реализации.
13. Проведение эксперимента и обработка экспериментальных данных.
14. Математическая модель – уравнение регрессии, её анализ и выводы.
15. Дробный факторный эксперимент и условия его реализации.
16. Дробная реплика и её свойства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

В учебном пособии изложен материал, изучение которого обеспечивает освоение основ методологии инженерного творчества. Освоение методологии предполагает овладение методами получения измерительной научной информации, основами математического планирования эксперимента и ознакомление с основными аспектами интенсивной технологии инженерного творчества: психологии творчества, логики и морфологии технических решений, методики постановки и решения задач поиска новых технических решений. Особое внимание уделено изучению вопросов, связанных с выявлением охраноспособных технических решений, подготовкой заявочных материалов на выдачу патента на изобретение и доказательством признаков охраноспособности заявленного технического решения.

С учётом основных задач и цели изучения дисциплины освоение теоретического курса должно сопровождаться практикой решения творческих инженерных задач, не имеющих готовой постановки и требующих нетривиальных методов решения в отсутствие аналогов конечного результата. Освоению навыков математико-статистической обработки измерительной информации и результатов экспериментального и аналитического исследований способствует предусмотренная в рамках дисциплины курсовая учебная исследовательская работа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ясницкий, Л. Н.** Современные проблемы науки [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. Н. Ясницкий, Т. В. Данилевич. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 294 с. – Режим доступа : [http://window.edu.ru/window/catalog?p\\_rid=62251&p\\_rubr=2.2.74.13](http://window.edu.ru/window/catalog?p_rid=62251&p_rubr=2.2.74.13)
2. **Попов, А. И.** Методы научного познания в инновационной деятельности / А. И. Попов, А. В. Авдеева. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 16 с.
3. **Вигдорович, В. И.** Методы научно-технического творчества : крат. курс лекций для студ. спец. «Инженерная защита окружающей среды» / В. И. Вигдорович ; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2009. – 111 с.
4. **Глинкин, Е. И.** Техника творчества : монография / Е. И. Глинкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 168 с.
5. **Барышева, А. В.** Инновации : учебное пособие / А. В. Барышева, К. В. Балдин, С. Н. Галдицкая и др. ; под общ. ред. А. В. Барышевой. – Москва, 2007 – 382 с.
6. **Попов, А. И.** Решение творческих профессиональных задач : учебное пособие для студентов 3 – 5 курсов технических специальностей / А. И. Попов. – Тамбов : ТГТУ, 2004. – 80 с.
7. **Адлер, Ю. П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. А. Грановский. – Москва : Наука, 1976. – 279 с.
8. **Альтшуллер, Г. С.** Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – Москва : Сов. радио, 1979.–175 с.
9. **Джон, Дж. К.** Инженерное и художественное конструирование / Дж. К. Джон ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1971. – 374 с.
10. **Лук, А. Н.** Психология творчества / А. Н. Лук. – Москва : Наука, 1978. – 126 с.
11. **Тринг, М.** Как изобретать? / М. Тринг, Э. Лейтуэйт ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1980. – 272 с.
12. **Румшисский, Л. З.** Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшисский. – Москва : Наука, 1971. – 192 с.
13. **Альтшуллер, Г. С.** Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. – Москва : Московский рабочий, 1973. – 196 с.
14. **Бройль, Л.** По тропам науки / Л. Бройль. – Ленинград : Лениздат, 1982. – 120 с.
15. **Половинкин, А. И.** Основы инженерного творчества / А. И. Половинкин. – Москва : Машиностроение, 1988. – 368 с.
16. **Киселёв, О. Н.** Как оформить заявку / О. Н. Киселёв. – Ленинград : Лениздат, 1982. – 120 с.
17. **Хохлов, Р. В.** О формировании молодого специалиста в стенах / Р. В. Хохлов // Возраст познания : сборник / сост. Н. А. Филипповский. – Москва : Молодая гвардия, 1977. – 192 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ И ОСУЩЕСТВЛЕНИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ .....	7
1.1. Организация научно-исследовательской работы. Основные этапы научного исследования .....	8
2. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	10
2.1. Основные понятия и терминология теории ошибок измерения физических величин .....	10
2.2. Классификация погрешностей .....	12
2.3. Вероятностные оценки ошибок измерений .....	13
2.4. Статистическая обработка результатов многократных измерений .....	14
2.5. Необходимое число измерений .....	16
2.6. Ошибки косвенных измерений .....	17
3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА .....	19
3.1. Метод ортогонального планирования Бокса–Уилсона .....	19
3.2. Объект исследования .....	20
3.3. Целевая функция (параметр оптимизации) .....	22
3.4. Факторы .....	22
3.5. Функция отклика .....	22
3.6. Принятие решений перед планированием эксперимента .....	25
3.7. Полный факторный эксперимент типа « $2^k$ » (метод Бокса–Уилсона) ...	26
3.8. Дробный факторный эксперимент .....	30
3.9. Дробная реплика .....	31
3.10. Проведение эксперимента. Статистическая оценка его результатов	32
4. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ТВОРЧЕСКИХ ЗАДАЧ .....	36
4.1. Некоторые вопросы психологии творчества .....	36
4.2. Методы поиска идей (технических решений) .....	40
4.3. Методика преодоления тупиковых ситуаций .....	43
4.4. Алгоритм решения изобретательских задач .....	45
4.5. Тактика изобретательства с использованием алгоритма решения изоб- ретательских задач .....	52
5. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРАКТИКИ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА .....	63
5.1. Описание изобретения .....	67
5.2. Доказательство новизны .....	70
5.3. Доказательство положительного эффекта .....	71
5.4. Доказательство существенности отличий .....	72
5.5. Доказательство техничности решения .....	75
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ .....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	77
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	78

Учебное издание

ДОЛГУНИН Виктор Николаевич  
ИВАНОВ Павел Александрович  
ПРОНИН Василий Александрович

# МЕТОДЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

Учебное пособие

Редактор З. Г. Чернова  
Инженер по компьютерному макетированию О. М. Гурьянова

ISBN 978-5-8265-1268-5



Подписано в печать 11.04.2014.  
Формат 60×84 /16. 4,65 усл. печ. л.  
Тираж 100 экз. Заказ № 181

Издательско-полиграфический центр  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14  
Тел. 8(4752) 63-81-08;  
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru