

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пермская государственная сельскохозяйственная академия
имени академика Д.Н. Прянишникова»

А.Ф. Кошурников

Основы научных исследований

Учебное пособие

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по агроинженерному образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия».

Пермь
ИПЦ «ПрокростЪ»
2014

УДК 631.3 (075)
ББК 40.72.я7
К765

Рецензенты:

А.Г. Левшин, доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой
«Эксплуатация машинно-тракторного парка» МГАУ им. В.П. Горячкина;

А.Д. Галкин, доктор технических наук, профессор (ООО «Техноград»,
г. Пермь);

С.Е. Басалгин, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела технического сервиса ООО «Навигатор – новое машиностроение».

К765 Кошурников А.Ф. Основы научных исследований: учебное пособие./
Мин-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение
высшего проф. образов. «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Пря-
нишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. –317 с.
ISBN 978-5-94279-218-3

Учебное пособие включает вопросы выбора темы исследования, структуры НИР, источников научно-технической информации, способа выдвижения гипотез о направлениях решения задач, методов построения моделей технологических процессов, осуществляемых с использованием сельскохозяйственной техники и их анализа с помощью ЭВМ, планирования опытов и обработки результатов экспериментов при многофакторных, в том числе полевых исследованиях, защиты приоритета научно-технических разработок с элементами патентоведения и рекомендации по внедрению их в производство.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия». Оно может быть полезно магистрам и аспирантам, научным и инженерно-техническим работникам.

УДК 631.3 (075)
ББК 40.72.я7

Печатается по решению методической комиссии инженерного факультета Пермской ГСХА (протокол № 4 от 12.12.2013 г.).

ISBN 978-5-94279-218-3

© Кошурников А.Ф., 2014
© ИПЦ «Прокрость», 2014

Содержание

Введение.....	5
1. Наука в современном обществе и ее значение в высшем профессиональном образовании.....	9
1.1. Роль науки в развитии общества.....	9
1.2. Классификация научных исследований.....	12
1.3. Системы и системный подход в научных исследованиях.....	13
1.4. Структура научных исследований в области прикладных наук...	15
1.5. Методика научных исследований	15
1.6. Программа исследований.....	18
2. Выбор темы исследований, социальный заказ на совершенствование сельскохозяйственной техники.....	19
3. Информационное обеспечение научных исследований.....	23
3.1. Государственная (федеральная) система научно-технической информации России и направления ее развития.....	24
3.2. Система научно-технической информации в АПК России.....	32
3.3. Региональный уровень системы научно-технической информации.....	34
3.4. Научно-техническая информация на предприятиях и в организациях. Библиотечное обслуживание.....	36
4. Гипотезы, их роль в научных исследованиях.....	47
4.1. Гипотеза как основа исследования.....	47
4.2. Основные требования к гипотезам.....	48
4.3. Некоторые способы разработки гипотез.....	49
5. Проверка гипотез, модели, теоретические исследования.....	54
5.1. Модель как метод познания исследуемых объектов.....	54
5.2. Физическое моделирование. Основные понятия.....	64
5.2.1. Критерии подобия.....	65
5.2.2. Анализ размерностей в теории подобия.....	71
5.3. Аналоговое моделирование.....	76
5.4. Знаковое моделирование. Вербальные и алгоритмические модели.....	87
5.5. Математическое моделирование.....	89
5.5.1. Математические модели, построенные на основе алгебраических уравнений и их систем.....	89
5.5.2. Математические модели в виде дифференциальных уравнений, составленных с использованием принципа Ж. Даламбера.....	93
5.5.3. Математические модели, основанные на использовании уравнений Ж. Лагранжа.....	98
5.5.4. Математические модели с использованием уравнения П.Аппеля.....	117
5.5.5. Модели, основанные на использовании теории сплошных сред	122
5.5.6. Вероятностные (стохастические) модели технологических процессов, основанные на использовании стандартных законов распределения случайных величин.....	129
5.5.7. Модели, основанные на разработке специальных распределений вероятностей случайных величин.....	142

5.5.8. Имитационное моделирование (метод Монте-Карло).....	150
5.5.9. Модели, основанные на использовании теории случайных функций.....	157
5.5.10. Информационные модели.....	166
6. Экспериментальные исследования.....	176
6.1. Общие положения. Классификация экспериментов.....	176
6.2. Планирование эксперимента.....	180
6.2.1. Планирование полевого опыта.....	180
6.2.2. Планирование многофакторного эксперимента.....	184
6.2.3. Планы полного факторного эксперимента (ПФЭ).....	188
6.2.4. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ).....	193
6.2.5. Исследование поверхности отклика в области оптимума.....	195
6.2.6. Средства измерений и метрологический контроль за ними.....	202
7. Обработка результатов исследований.....	209
7.1. Ошибки измерений и их классификация.....	209
7.2. Точечные оценки измеряемых параметров.....	211
7.3. Интервальные оценки измеряемых параметров.....	215
7.4. Проверка статистических гипотез. Критерии согласия.....	226
7.5. Оценки систем случайных величин.....	236
7.6. Метод наименьших квадратов.....	244
8. Защита приоритета исследований и связанных с ними объектами интеллектуальной собственности.....	248
8.1. Объекты интеллектуальной собственности.....	249
8.2. Оформление заявки на изобретение.....	256
8.3. Условия патентоспособности полезной модели.....	260
8.4. Охрана промышленных образцов.....	261
8.5. Права и обязанности патентообладателей.....	262
8.6. Охрана маркетинговых обозначений.....	265
8.7. Охрана географических указаний.....	267
8.8. Право на использование результатов интеллектуальной деятельности в составе единой технологии.....	269
8.9. Способы совершенствования изобретательского творчества.....	270
9. Внедрение в производство.....	284
Заключение.....	293
Контрольные вопросы.....	295
Литература.....	299
Приложение 1. Пример описания изобретения к патенту Российской Федерации.....	302
Приложение 2. Пример использования методов ТРИЗ к решению изобретательской задачи.....	305
Приложение 3. Пример использования метода функционально-стоимостного анализа (ФСА) к решению изобретательской задачи....	309

Введение

Все, что окружает современного цивилизованного человека, создано творческим трудом предшествующих поколений.

Исторический опыт позволяет с уверенностью сказать, что ни одна сфера духовной культуры не оказала столь существенного и динамичного влияния на общество как наука.

Признанный в мире специалист по философии, логике и истории науки К. Поппер в своей книге [3] не удержался от такого сравнения:

«Как царь Мидас из известной древней легенды – к чему бы он ни прикасался, все обращалось в золото – так и наука, к чему бы она ни прикоснулась – все оживает, приобретает значимость и получает импульс к последующему развитию. И если даже она не может достигнуть истины, то стремление к знанию и поиск истины являются наиболее сильными мотивами дальнейшего совершенствования».

История науки показала, что старый научный идеал – абсолютная достоверность демонстративного знания – оказался идолом, что новый уровень знаний порой требует пересмотра даже некоторых основополагающих представлений («Прости меня, Ньютон» - писал А. Эйнштейн). Требования научной объективности делает неизбежным тот факт, что каждое научное положение *должно всегда* оставаться *временным*.

Поиск новых смелых положений, безусловно, связан с полетом фантазии, воображения, но особенностью научного метода является то, что все выдвинутые «предвосхищения» - гипотезы последовательно контролируются систематическими проверками, и, ни одно из них не защищается догматически. Иными словами наука создала полезный инструментарий, позволяющий находить способы обнаружения ошибок.

Научный опыт, позволяющий находить хотя бы временную, но твердую базу дальнейшего развития, полученный прежде всего в естественных науках, был положен в основу инженерного образования. Наиболее ярко это проявилось в первой программе подготовки инженеров Парижской политехнической школы. Это учебное заведение основано в 1794 году математиком и инженером Гаспаром Монжем, создателем начертательной геометрии. В программе была заложена ориентация на глубокую математическую и естественнонаучную подготовку будущих инженеров.

Не удивительно, что Политехническая школа вскоре стала центром развития *математического* естествознания, а также технических наук, прежде всего прикладной механики.

По этому образцу позднее были созданы инженерные учебные заведения в Германии, Испании, США, России.

Инженерная деятельность как профессия оказалась тесно связанной с регулярным применением научных знаний в технической практике.

Техника стала научной – но не в том только, что безропотно выполняет все предписания естественных наук, а и в том, что постепенно были выработаны специальные – технические науки, в которых теория стала не только вершиной исследовательского цикла, но и ориентиром для даль-

нейших действий, основой системы правил, предписывающих ход оптимального технического действия.

Основатель науки «Земледельческая механика» замечательный русский ученый В.П. Горячкин в своем докладе на годичном собрании Общества содействия успехам опытных наук 5 октября 1913 года отмечал: «Сельскохозяйственные машины и орудия настолько разнообразны по форме и жизни (движению) рабочих частей и притом работают почти всегда свободно (без фундамента), что в теории их должен быть резко выражен динамический характер, и что едва ли отыщется другая отрасль машиностроения с таким богатством теоретических тем, как «Земледельческая механика», а единственной современной задачей построения и испытания сельскохозяйственных машин можно считать *переход к строго научным основаниям*».

Особенностью этой науки он считал то, что она является посредником между механикой и естествознанием, называя ее механикой мертвого и живого тела.

Необходимость сопоставления воздействий машин с реакцией растений и средой их обитания привели к созданию так называемого *точного, координатного земледелия*. В задачу такой технологии входит обеспечение оптимальных условий роста растений на конкретном участке поля с учетом агротехнических, агрохимических, экономических и других условий.

Для обеспечения этого машины включают сложные системы спутниковой навигации, микропроцессорного регулирования, программирования и т.д.

Не только проектирование, но и производственная эксплуатация машин сегодня требует непрерывного повышения уровня, как базовой подготовки, так и непрерывного *самообразования*. Даже небольшой перерыв в системе повышения квалификации и самообразовании может привести к существенному отставанию от жизни и потере профессионализма.

Но наука как система приобретения знаний может обеспечить методологию самообразования, основные этапы которого совпадают со структурой исследований, во всяком случае, в области прикладных знаний, и особенно в разделе информационной поддержки исполнителя.

Таким образом, помимо основной задачи курса основ научных исследований – формирования научного мировоззрения специалиста, настоящее учебное пособие ставит перед собой задачу способствовать навыкам непрерывного самообразования в рамках избранной профессии. Необходимо, чтобы каждый специалист был вписан в существующую в стране систему научно-технической информации.

Представленное учебное пособие написано на основе курса «Основы научных исследований», читаемого на протяжении 35 лет в Пермской ГСХА.

Необходимость издания состоит в том, что существующие учебные пособия, охватывающие все этапы исследований и предназначенные для агроинженерных специальностей, были изданы двадцать-тридцать лет

назад (Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев – 1982 г., П.М. Василенко и Л.В. Погорелый – 1985, В.В. Коптев, В.А. Богомягких и М.Д. Трифонова – 1993).

За это время изменилась система образования (стала двухуровневой, с появлением магистров исследовательского направления предполагаемой работы), претерпела существенные изменения система научно-технической информации, существенно расширился круг используемых математических моделей технологических процессов с возможностью их анализа на ЭВМ, вступило в силу новое законодательство о защите интеллектуальной собственности, появились новые возможности внедрения новинок в производство.

Большая часть примеров построения моделей технологических процессов выбрана среди машин, осуществляющих механизацию работ в растениеводстве. Это объясняется тем, что на кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА разработан крупный пакет компьютерных программ, позволяющий проводить глубокий и всесторонний анализ этих моделей.

Построение математических моделей неизбежно связано с идеализацией объекта, так что постоянно стоит вопрос о мере их идентификации действительному объекту.

Многовековое изучение конкретных объектов и их возможных взаимодействий привело к появлению экспериментальных методов.

Большие проблемы у современного экспериментатора возникают в связи с необходимостью многофакторного анализа.

Когда в исследовании оценивается состояние обрабатываемой среды, параметров рабочих органов и режимов работы, то количество факторов измеряется уже десятками, а число опытов – миллионами.

Созданные в прошлом веке методы оптимального многофакторного эксперимента позволяют существенно снизить число опытов, поэтому изучение их молодыми исследователями необходимо.

Большое значение в технических науках отводится обработке результатов эксперимента, оценке их точности и ошибок, к которым может привести распространение результатов, полученных на ограниченном круге объектов, на всю, как говорят, *генеральную совокупность*.

Известно, что для этой цели используются методы математической статистики, изучению и корректному применению которых уделяют внимание во всех научных школах. Считают, что строгие основания математической статистики позволяют не только избегать ошибок, но и воспитывают у начинающих научных работников профессионализм, культуру мышления, способность критического восприятия не только чужих, но и своих результатов. Говорят, что математическая статистика способствует развитию *дисциплины ума* специалистов.

Результаты научной работы могут быть носителями новых знаний и использованы для совершенствования машин, технологий или создания новых товаров. В условиях современной рыночной экономики исключительное значение имеет защита приоритета исследований и связанных с ними объектов интеллектуальной собственности. Система интеллектуальной соб-

ственности перестала быть спокойной отраслью права. Сейчас, когда эта система глобализована в интересах экономики, она превращается в мощное средство конкурентной борьбы, торговли и политико-экономического давления.

Защита приоритета может быть осуществлена различными способами – публикация научных работ в печати, оформление заявки на получение патентов на изобретение, полезную модель, промышленный образец или на регистрацию товарного знака, знака обслуживания или места производства товара, коммерческое обозначение и др.

В связи с новым законодательством об интеллектуальной собственности, информация о правах на ее использование представляется актуальной.

Конечным этапом научного исследования является внедрение результатов в производство. Этот трудный период деятельности может быть облегчен за счет осознания значимости центральной функции маркетинга в вопросах деятельности промышленных предприятий. Современный маркетинг наработал достаточно эффективный инструментарий создания условий заинтересованности предприятий в использовании новинок.

Особую значимость могут предоставлять оригинальность и высокая конкурентоспособность продукта, подтвержденная соответствующими патентами.

В заключительной части книги приводятся варианты организации внедрения студенческих научных работ в производство. Участие во внедренческих работах любой формы оказывает большое влияние не только на профессиональную подготовку специалистов, но и на формирование у них активной жизненной позиции.

1. Наука в современном обществе и ее значение в высшем профессиональном образовании

1.1. Роль науки в развитии общества

Наука в нашей жизни играет особую роль. Прогресс предшествующих столетий привел человечество к новому уровню развития и качеству жизни. Технологический прогресс основан, прежде всего, на использовании научных достижений. Кроме этого, наука оказывает сейчас влияние на другие сферы деятельности, перестраивает их средства и методы.

Уже в средние века возникающее естествознание заявило свои претензии на формирование новых, свободных от многих догм мировоззренческих образов.

Не случайно наука в течение многих веков подвергалась церковному преследованию. Святая инквизиция немало потрудились над сохранением в обществе своих догматов, тем не менее, 17...18 века – это *века просвещения*.

Обретя мировоззренческие функции, наука стала активно воздействовать на все сферы социальной жизни. Постепенно ценность образования, основанного на усвоении научных знаний, росла и стала восприниматься как нечто само собой разумеющееся.

В конце 18 века и в 19 веке наука активно вошла в сферу промышленного производства и в 20 веке становится производительной силой общества. Кроме этого, 19 и 20 вв. могут характеризоваться расширяющимся использованием науки в различных областях социальной жизни, прежде всего в системах управления. Она становится там основой квалифицированных экспертных оценок и принятия решений.

Эту новую функцию характеризуют сейчас как социальную. При этом продолжают усиливаться мировоззренческие функции науки и ее роль производительной силы. Возросшие возможности человечества, вооруженного последними достижениями науки и техники, стали ориентировать общество на силовое преобразование природного и социального мира. Это привело к ряду негативных «побочных» эффектов (военная техника, способная уничтожить все живое, экологический кризис, социальные революции и т.д.). В результате понимания таких возможностей (хотя, как говорят, спички создавались не для того, чтобы ими играли дети) в последнее время наметилось изменение научно-технического развития за счет придания ему гуманистического измерения. Возникает новый тип научной рациональности, включающий в себя в явном виде гуманистические ориентиры и ценности [1].

Научно-технический прогресс неразрывно связан с инженерной деятельностью. Возникновение ее как одного из видов трудовой деятельности в свое время было связано с появлением мануфактурного и машинного производства. Она формировалась в среде ученых, обратившихся к технике или ремесленников-самоучек, приобщившихся к науке.

Решая технические задачи, первые инженеры обратились к физике, механике, математике, из которых они черпали знания для проведения тех или иных расчетов и непосредственно к ученым, перенимая их методику исследований.

В истории техники много таких примеров. Часто вспоминают обращение инженеров, сооружающих фонтаны в саду флорентийского герцога Козимо II Медичи, к Г. Галилею, когда их озадачило то обстоятельство, что вода за поршнем не поднималась выше 34 футов, хотя, согласно учению Аристотеля (природа не терпит пустоты), этого не должно было случиться.

Г. Галилей отшутился, что, мол, эта боязнь не распространяется выше 34 футов, но задача была поставлена и блестяще решена учениками Г. Галилея Т. Торричелли со своим знаменитым «итальянским экспериментом», а затем трудами Б. Паскаля, Р. Бойля, Отто фон Герика, окончательно установившими влияние атмосферного давления и убедившими в этом оппонентов опытами с Магдебургскими полушариями.

Таким образом, уже в этот начальный период инженерной деятельности специалисты (чаще всего выходцы из цехового ремесла) были ориентированы на научную картину мира.

Вместо анонимных ремесленников все в большем количестве появляются техники-профессионалы, крупные индивидуальности, знаменитые далеко за пределами непосредственного места своей деятельности. Такими, например, являются Леон Батиста Альберти, Леонардо да Винчи, Никколо Тарталья, Джероламо Кардано, Джон Непер и др.

В 1720 г. Во Франции был открыт ряд военно-инженерных учебных заведений по фортификации, артиллерии и корпус инженеров путей сообщения, в 1747 г. – школа дорог и мостов.

Когда техника дошла до состояния, в котором дальнейшее продвижение оказывается невозможным без насыщения ее наукой, начала ощущаться потребность в кадрах.

Появление высших технических школ знаменует следующий важный этап в инженерной деятельности.

Одной из первых таких школ была Парижская политехническая школа, основанная в 1794 году, где сознательно ставился вопрос систематической научной подготовки будущих инженеров. Она стала образцом для организации высших технических учебных заведений, в том числе и в России.

С самого начала эти учреждения начали выполнять не только учебные, но и исследовательские функции в сфере инженерной деятельности, чем способствовали развитию технических наук. Инженерное образование с тех пор стало играть существенную роль в развитии техники [2].

Инженерная деятельность представляет собой сложный комплекс различных видов деятельности (изобретательская, проектировочная, конструкторская, технологическая и т.п.) и обслуживает разнообразные сферы техники (машиностроение, сельское хозяйство, электротехника, химические технологии, перерабатывающие отрасли промышленности, металлургия и т.д.).

Сегодня ни один человек не сможет выполнить все разнообразные работы, необходимые для выпуска какого-либо сложного изделия (в одном только современном двигателе используются десятки тысяч деталей).

Дифференциация инженерной деятельности привела к появлению так называемых «узких» специалистов, знающих, как говорят, «все ни о чем».

Во второй половине XX века изменяется не только объект инженерной деятельности. Вместо отдельного технического устройства объектом проектирования становится сложная человеко-машинная система, расширяются и виды деятельности, связанные, например, с организацией и управлением.

Инженерной задачей стало не только создание технического устройства, но и обеспечение его нормального функционирования в обществе (не только в техническом смысле), удобство обслуживания, бережное отношение к окружающей среде, наконец, благоприятное эстетическое воздействие ... Мало создать техническую систему, необходимо организовать социальные условия ее продажи, внедрения и функционирования с максимальными удобствами и пользой для человека.

Инженер-руководитель должен быть уже не только техником, но и юристом, экономистом, социологом. Иными словами, наряду с дифференциацией знаний необходима и интеграция, ведущая к появлению специалиста широкого профиля знающего, как говорят «ничего обо всем».

Для решения этих, вновь возникших социотехнических задач, создаются новые типы высших учебных заведений, например, технические университеты, академии и т.д.

Громадный объем современных знаний по любому предмету, а главное – это непрерывно расширяющийся поток требует от любого вуза воспитания у студента научного мышления и способности к самообразованию, саморазвитию. Научное мышление формировалось и изменялось по мере развития науки в целом и ее отдельных частей.

В настоящее время существует большое количество понятий и определений и самой науки (от философской до бытовой, например, «его пример другим наука»).

Простейшее и достаточно очевидное определение может состоять в том, что наука – это определенная человеческая деятельность, обособленная в процессе разделения труда и направленная на получение знаний. Понятие науки как производства знаний очень близко, во всяком случае, по технологии к самообразованию.

Роль самообразования в любой современной деятельности, а тем более инженерной, возрастает стремительно. Любое, даже очень незначительное прекращение слежения за уровнем современных знаний ведет к потере профессионализма.

В некоторых случаях роль самообразования оказывалась существенней традиционной, системной школьной и даже вузовской подготовки. Примером тому является Никколо Тарталья, изучивший в школе лишь половину азбуки (на большее не хватило семейных средств), но первым решивший уравнение третьей степени, что сдвинуло математику с античного уровня и послужило основанием нового, галилеевского этапа развития науки. Или Михаил Фарадей – великий переплетчик, не изучавший в школе ни геометрии, ни алгебры, но разработавший основы современной электротехники.

1.2. Классификация научных исследований

Существуют различные основания для классификации наук (например, по связи с природой, техникой или обществом, по используемым методам – теоретическая или экспериментальная, по исторической ретроспективе и т.п.).

В инженерной практике науку часто подразделяют на фундаментальную, прикладную и опытно-конструкторские разработки.

Обычно объектом фундаментальной науки является природа, а целью – установление законов природы. Фундаментальные исследования в основном ведутся в таких отраслях, как физика, химия, биология, математика, теоретическая механика и др.

Современные фундаментальные исследования, как правило, требуют настолько больших средств, что далеко не все страны могут позволить себе их вести. Непосредственная практическая применимость результатов – маловероятна. Тем не менее, именно фундаментальная наука питает в конечном счете все отрасли человеческой деятельности.

Практически все виды технических наук, в том числе и «земледельческую механику» относят к прикладным наукам. Объектами исследований здесь становятся машины и технологические процессы, выполняемые с их помощью.

Частная ориентация исследований, достаточно высокий уровень инженерной подготовки в стране делают вероятность достижения практически полезных результатов достаточно высокой.

Часто приводят образное сравнение: «Фундаментальные науки служат для того, чтобы понять мир, а прикладные – чтобы его изменить».

Различают адресность фундаментальных и прикладных наук. Прикладные адресуют производителям и заказчикам. Они являются нуждами или желаниями этих клиентов, а фундаментальные – другим членам научного сообщества. С методологической точки зрения, разница между фундаментальными и прикладными науками стирается.

Уже к началу XX столетия технические науки, выросшие из практики, приняли качество подлинной науки, признаками которой являются систематическая организация знаний, опора на эксперимент и построение математизированных теорий.

В технических науках появились также особые фундаментальные исследования. Примером этого является теория масс и скоростей, разработанная В.П. Горячкиным в рамках «Земледельческой механики».

Технические науки заимствовали у фундаментальных самый идеал научности, установку на теоретическую организацию научно-технических знаний, на построение идеальных моделей, математизацию. В то же время они оказывают в последние годы значительное влияние на фундаментальные исследования за счет разработки средств современных измерений, записи и обработки результатов исследований. Например, исследования в области элементарных частиц потребовали разработки уникальнейших ускорителей, разрабатываемых международными сообществами. В этих слож-

нейших технических устройствах физики уже стремятся моделировать условия начального «Большого взрыва» и образования материи. Таким образом, фундаментальные естественные и технические науки становятся равноправными партнерами.

При опытно-конструкторских разработках результаты технических прикладных наук используются для совершенствования конструкций машин и режимов их работы. Еще Д.И. Менделеев в свое время говорил, что «машина должна работать не в принципе, а в своем корпусе». Эта работа выполняется, как правило, в заводских и специализированных конструкторских бюро, на испытательных полигонах заводов и машинно-испытательных станций (МИС).

Заключительной проверкой научно-исследовательской работы, воплощенной в ту или иную конструкцию машины, является практика. Не случайно над всей заводской платформой отгрузки готовых машин известной фирмы «John Deere» был установлен плакат, в переводе гласящий: «Отсюда начинаются самые суровые испытания нашей техники».

1.3. Системы и системный подход в научных исследованиях

Во второй половине 20 века в научный обиход прочно вошло понятие *системного анализа*.

Объективными предпосылками к этому явился общенаучный прогресс. Системная сущность задач обнаруживается в реальном существовании сложных процессов взаимодействия и взаимосвязей между комплексами машин, их рабочими органами с внешней средой, способами управления.

Современная методология системного анализа возникла на базе диалектического понимания взаимосвязанности и взаимообусловленности явлений в реально протекающих технологических процессах.

Такой подход стал возможен в связи с достижениями современной математики (операционное исчисление, исследование операций, теория случайных процессов и др.), теоретической и прикладной механики (статическая динамика), широким исследованием ЭВМ.

О возможной сложности, к которой может привести системный подход, можно судить по сообщению специалистов компании Siemens PLM, опубликованному в одной из INTERNET - реклам.

При исследовании напряжений в стержневых и оболочных элементах крыла самолета, а также параметров деформаций, вибраций, теплопередачи, акустических характеристик в зависимости от случайных воздействий окружающей среды составлена математическая модель, представляющая собой 500 млн. уравнений.

Для расчета использован пакет компьютерных программ NASRAN (NASA STRuctural ANalysis).

Время расчета на 8-ядерном сервере IBM Power 570 составило примерно 18 часов.

Система обычно задается перечнем объектов, их свойств, налагаемых связей и выполняемых функций.

Характерными особенностями сложных систем являются:

- наличие иерархической структуры, т.е. возможность расчленения системы на то или иное число взаимодействующих между собой подсистем и элементов, выполняющих различных функций;
- стохастический характер процессов функционирования подсистем и элементов;
- наличие общей для системы целенаправленной задачи;
- подверженность системы управления со стороны оператора.

На рис. 1.1. представлена структурная схема системы "оператор - поле - сельскохозяйственный агрегат".

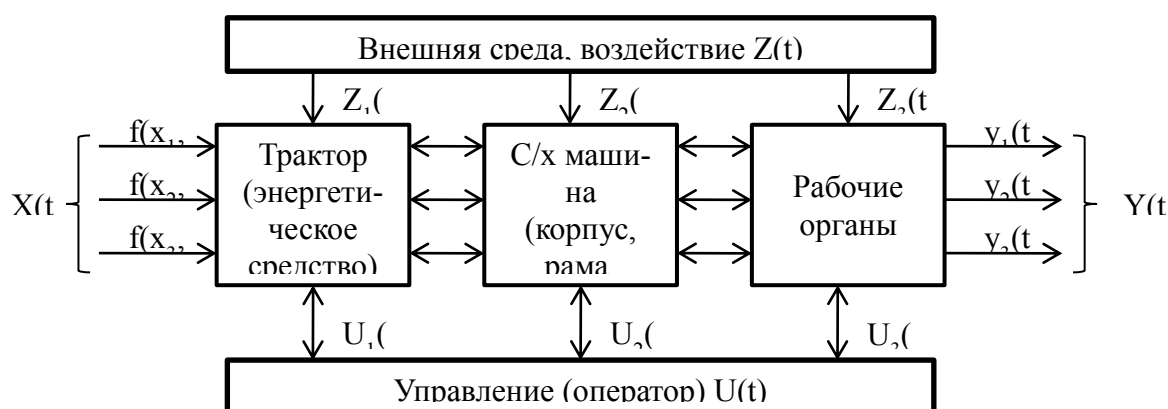


Рис. 1.1. Структурная схема сложной системы

В качестве входных переменных принимают изучаемые параметры технологического процесса и их характеристики (глубина и ширина обрабатываемой полосы, урожайность, влажность и засоренность обрабатываемого вороха и т.д.).

Вектор $U(t)$ управляющих воздействий может включать повороты руля, изменение скорости движения, регулирование высоты среза, давления в гидравлических или пневматических системах машин и т.д.

Выходные переменные также представляют собой вектор-функцию из количественных и качественных оценок результатов работы (реальная производительность, затраты мощности, степень крошения, подрезания сорняков, выравнивание обработанной поверхности, потери зерна и др.).

Изучаемые системы подразделяют:

- на искусственные (созданные человеком) и естественные (с учетом окружающей среды);
- на открытые и закрытые (с учетом окружающей среды или без нее);
- статические и динамические;
- управляемые и неуправляемые;
- детерминированные и вероятностные;
- реальные и абстрактные (представляющие собой системы алгебраических или дифференциальных уравнений);
- простые и сложные (многоуровневые конструкции, состоящие из взаимодействующих между собой подсистем и элементов).

Иногда системы подразделяют с учетом физических процессов, обеспечивающих их функционирование, например, механические, гидравлические, пневматические, термодинамические, электрические.

Кроме этого могут быть биологические, социальные, организационно-управленческие, экономические системы.

Задачами системного анализа обычно являются:

- определение характеристик элементов системы;
- установление связей между элементами системы;
- оценка общих закономерностей функционирования агрегатов и свойств, принадлежащих только всей системе в целом (например, устойчивости динамических систем);
- оптимизация параметров машин и производственных процессов.

Исходным материалом для решения этих вопросов должно служить изучение характеристик внешней среды, физико-механических и технологических свойств сельскохозяйственных сред и продуктов.

Далее при теоретических и экспериментальных исследованиях устанавливают интересующие закономерности, обычно в виде систем уравнений или уравнений регрессии, а затем оценивают степень идентичности математических моделей реальным объектам.

1.4. Структура научных исследований в области прикладных наук

Работа над научно-исследовательской темой проходит ряд этапов, которые составляют так называемую структуру научного исследования. Разумеется, что эта структура в значительной мере зависит от вида и целей работы, но для прикладных наук такие этапы характерны. Другой разговор, что в одних из них могут содержаться все этапы, в других – нет. Одни из этапов могут быть большими, другие меньшими, но назвать (выделить) их можно.

1. Выбор темы исследования (постановка проблемы, задачи).
2. Изучение состояния вопроса (или уровня техники, как это именуется при патентных исследованиях). Так или иначе, это изучение того что сделано предшественниками.
3. Выдвижение гипотезы о способе решения поставленной задачи.
4. Обоснование гипотезы, с точки зрения механики, физики, математики. Часто этот этап составляет теоретическую часть исследования.
5. Экспериментальное исследование.
6. Обработка и сопоставление результатов исследований. Выводы по ним.
7. Закрепление приоритета исследования (оформление заявки на патент, написание статьи, отчета).
8. Внедрение в производство.

1.5. Методика научных исследований

Результаты любого исследования в большей мере зависят от методики достижения результатов.

Под *методикой исследования* понимают совокупность способов и приемов решения поставленных задач.

Различают обычно три уровня разработки методики.

Прежде всего необходимо обеспечить основные *методологические* требования к предстоящему исследованию.

Методология - учение о методах познания и преобразования действительности, применения принципов мировоззрения к процессу познания, творчеству и практике.

Частной функцией методологии является определение подходов к явлениям действительности.

Основными методологическими требованиями к инженерным исследованиям считают *материалистический подход* (исследуются материальные объекты под материальными воздействиями); *фундаментальность* (и связанное с этим широкое использование математики, физики, теоретической механики); *объективность и достоверность* выводов.

Процесс движения человеческой мысли от незнания к знанию называют *познанием*, в основе которого лежит отражение объективной действительности в сознании человека в процессе его деятельности, которую часто именуют *практикой*.

Потребности практики, как уже было отмечено ранее, выступают основной и движущей силой развития познания. Познание вырастает из практики, но затем само направляется на практическое овладение действительностью.

Очень образно эту модель познания отразил Ф.И. Тютчев:

«Так связан, съединен от века
Союзом кровного родства
Разумный гений человека
С творящей силой естества...»

Методология таких исследований должна быть настроена на эффективное внедрение результатов *преобразующей практики*.

Для обеспечения этого методологического требования необходимо, чтобы исследователь имел практический опыт работы на производстве или во всяком случае хорошо его себе представлял.

Собственно *методику исследований* подразделяют на *общую и частную*.

Общая методика относится по всему исследованию в целом и содержит главные способы решения поставленных задач.

В зависимости от целей исследования, изученности тематики, сроков исполнения, технических возможностей выбирают основной тип работы (теоретический, экспериментальный, или во всяком случае их соотношение).

Выбор типа исследования основывается гипотезой о способе решения задачи. Основные требования к научным гипотезам и способы их разработки изложены в главе (4).

Теоретическое исследование, как правило, связано с построением математической модели. Обширный перечень возможных моделей, использу-

емых в технике, приведен в главе (5). Выбор конкретной модели требует эрудиции разработчика или основывается на аналогии с подобными исследованиями при их критическом анализе.

После этого автор обычно тщательно изучает соответствующий механико-математический аппарат и затем на его основе строит новые или уточненные модели изучаемых процессов. Варианты наиболее распространенных математических моделей в агроинженерных исследованиях составляют содержание подраздела 5.5.

Наиболее полно до начала работы разрабатывают методику экспериментальных исследований. При этом определяют вид эксперимента (лабораторный, полевой, одно- или многофакторный, поисковый или решающий), проектируют лабораторную установку или оснащают машины контрольно-измерительными приборами и регистрирующей аппаратурой. Обязательным в этом случае является метрологический контроль за их состоянием.

Организационные формы и содержание метрологического контроля рассмотрены в параграфе 6.2.6.

Вопросы планирования эксперимента и организации проведения полевых опытов рассмотрены в главе 6.

Одним из основных требований к классическим экспериментам в области точных наук является *воспроизводимость опытов*. К сожалению, к этому требованию не отвечают полевые исследования. Изменчивость полевых условий не позволяет воспроизвести опыты. Этот недостаток отчасти устраняют подробным описанием условий эксперимента (метеорологических, почвенных, биологических и физико-механических характеристик).

Заключительную часть общей методики обычно составляют способы обработки экспериментальных данных. Обычно при этом ссылаются на необходимость применения общепринятых методов математической статистики, с помощью которых оценивают числовые характеристики измеряемых величин, строят доверительные интервалы, используют критерии согласия для проверки принадлежности к выборке, значимости оценок математических ожиданий, дисперсий и коэффициентов вариации, проводят дисперсионный и регрессионный анализы.

Если в эксперименте изучались случайные функции или процессы, то при обработке результатов находят их характеристики (корреляционные функции, спектральные плотности), по которым, в свою очередь, оценивают динамические свойства исследуемых систем (передаточные, частотные, импульсные и др. функции).

При обработке результатов многофакторных экспериментов оценивают значимость каждого фактора, возможных взаимодействий, определяют коэффициенты уравнений регрессии.

В случае проведения экспериментальных исследований определяют значения всех факторов, при которых изучаемая величина находится на максимальном или минимальном уровне.

Содержанием частных методик обычно является обоснование использования тех или иных измерительно-регистрирующих приборов, спо

собы устранения возможных систематических ошибок, определение количества повторностей и числа измерений.

В настоящее время при экспериментальных исследованиях широко применяют электрические измерительно-регистрирующие комплексы.

Обычно эти комплексы включают три блока.

Прежде всего это система датчиков-преобразователей неэлектрических величин (таких, например, как перемещения, скорости, ускорения, температуры, силы, моменты сил, деформации) в электрический сигнал.

Заключительным блоком в современных исследованиях обычно бывает компьютер.

Промежуточные блоки обеспечивают согласование сигналов датчиков с требованиями входных параметров компьютеров. В их состав могут входить усилители, преобразователи аналоговых сигналов в цифровые, коммутаторы и др.

Подобное описание существующих и перспективных методов измерений, измерительных комплексов и их программного обеспечения описано в книге «Испытания сельскохозяйственной техники» [22].

По результатам обработки экспериментальных данных делают заключения о противоречивости опытных данных выдвинутой гипотезе или математической модели, значимости тех или иных факторов, степени идентификации модели и др.

1.6. Программа исследования

При коллективной научной работе, особенно в сложившихся научных школах и лабораториях, часть этапов научных исследований может быть для конкретного исполнителя упущена. Возможно, что они были произведены ранее или поручены другим сотрудникам и подразделениям (например, оформление заявки на изобретение может быть поручено патентоведу, работы по внедрению в производство – конструкторскому бюро и научно-производственным мастерским и т.д.).

Оставшиеся этапы, конкретизированные разработанными методиками выполнения, составляют *программу исследования*. Часто программу дополняют перечнем всех задач исследований, характеристикой условий работы и зоны, для которой готовят результаты. Кроме этого, в программе предполагается отразить необходимость в материалах, оборудовании, площадях для полевых опытов, оценить затраты на проведение исследования и экономический (социальный) эффект от внедрения в производство.

Как правило, программу исследований обсуждают на заседаниях кафедр, научно-технического совета, и ее подписывают как исполнитель, так и руководитель работы.

Периодически выполнение программы и плана работ на определенный период контролируется.

2. Выбор темы исследований, социальный заказ на совершенствование сельскохозяйственной техники

Выбор темы исследования представляет собой задачу с очень многими неизвестными и таким же количеством решений. Прежде всего, работать нужно хотеть, а для этого необходима очень серьезная мотивация. К сожалению, стимулы, способствующие обычной работе, – достойный заработок, престиж, известность – в данном случае малоэффективны. Вряд ли можно привести пример богатого ученого. Сократу порой приходилось ходить босиком по грязи со снегом и лишь в одном плаще, но он осмелился поставить разум и истину выше жизни, отказался каяться в своих убеждениях в суде, был приговорен к смерти, и цикута окончательно сделала его великим.

А. Эйнштейн, по свидетельству его ученика, а затем сотрудника Л. Инфельда, носил длинные волосы, чтобы реже ходить к парикмахеру, обходился без носков, подтяжек, пижам. Он реализовал программу-минимум – обувь, брюки, рубашка и пиджак – обязательно. Дальнейшее сокращение было бы затруднительным.

От голода умер наш замечательный популяризатор науки Я.И. Перельман. Им написано 136 книг по занимательной математике, физике, ящик загадок и фокусов, занимательная механика, межпланетные путешествия, мировые дали и т.д. Переиздаются книги десятки раз.

От истощения в блокадном Ленинграде умерли основатели сельскохозяйственного машиноведения профессора А.А. Барановский, К.И. Дебу, М.Х. Пигулевский, М.Б. Фабрикант, Н.И. Юферов и многие другие [2].

То же самое в тюрьме случилось с Н.И. Вавиловым – крупнейшим в мире ученым-генетиком. Тут проявляется еще одна очень странная связь государства с представителями науки – через тюрьму.

Жертвами инквизиции стали Ян Гусс, Т. Кампанелла, Н. Коперник, Дж. Бруно, Г. Галилей, Т. Гоббе, Гельвеций, Вольтер М. Лютер. К запрещенным книгам (которые не только читать, но и хранить было нельзя под страхом смерти), отнесены произведения Рабле, Оккамы, Савоноролы, Данте, Томаса Моора, В. Гюго, Горация, Овидия, Ф. Бэкона, Кеплера, Тихо де Браге, Д. Дидро, Р. Декарта, Д'Аламбера, Э. Золя, Ж.Ж. Руссо, Б. Спинозы, Ж. Санд, Д. Юма и др. Запрещены отдельные произведения П. Бейла, В. Гюго, Э. Канта, Г. Гейне, Гельвеция, Э. Гиббона, Э. Каабе, Дж. Локка, А. Мицкевича, Д.С. Милля, Ж.Б. Мираба, М. Монтея, Ж. Монтескье, Б. Паскаля, Л. Ранке, Рейналя, Стендаля, Г. Флобера и многих других выдающихся мыслителей, писателей и ученых.

Всего в изданиях папского индекса фигурирует около 4 тыс. отдельных произведений и авторов, все произведения которых запрещены. Практически это весь цвет Западно-Европейской культуры и науки.

В нашей стране то же самое. От церкви был отлучен Л.Н. Толстой, знаменитый математик А. Марков. Тем или иным мерам репрессий подверглись П.Л. Капица, Л.Д. Ландау, А.Д. Сахаров, И.В. Курчатов, А. Туполев и среди писателей Н. Клюев, С. Клычков, О. Мандельштам, Н. Заболоц-

кий, Б. Корнилов, В. Шаламов, А. Солженицын, Б. Пастернак, Ю. Домбровский, П. Васильев, О. Берггольц, В. Боков, Ю. Даниель и др.

Таким образом зарабатывать в России трудно и опасно.

Одной из мотиваций учености могла бы быть известность, но, согласитесь, известность любого сегодняшнего телевизионного хохмача превзойдет сколь угодно яркую научную работу, а тем более ее автора.

Среди действующих мотиваций к научной работе остается лишь три.

1. **Естественное любопытство человека.** Для чего-то ему нужно читать книги, решать задачи, кроссворды, головоломки, придумывать массу оригинальных вещей и т.д. А.П. Александрову, бывшему в свое время директором института физических проблем и института атомной энергии, приписывают широко известные на сегодня слова: «Наука дает возможность удовлетворить собственное любопытство за казенный счет». Впоследствии многие пересказывали эту мысль. Но все-таки в одной из последних работ А.Д. Сахаров, соглашаясь с этой мотивацией, отметил, что главным было все-таки другое. Главным был социальный заказ страны. «Это был наш конкретный вклад в одно из важнейших условий мирного существования с Америкой».

2. **Социальный заказ.** Любой специалист страны, являясь членом гражданского общества, занимает в этом обществе определенное место. Разумеется, что у этой части общества есть определенные права (среди его представителей технические руководители или администраторы) и обязанности. А вот обязанностью технического руководителя является совершенствование производства, которое может идти по очень многим направлениям. Важнейшим из них является необходимость облегчить тяжелый труд людей, которого в сельском хозяйстве еще более чем достаточно. Всегда стояла, стоит и стоять будет задача о повышении производительности труда, качества работ, работоспособности и надежности техники, комфортабельности и безопасности. Если говорить о проблемных вопросах и направлениях развития сельскохозяйственной техники, то их столь много, что работы хватит на все наше поколение, многое останется детям и внукам.

Если очень кратко изложить основные проблемы механизации только отдельных операций сельского хозяйства, то можно показать обширность круга возможного приложения сил.

Обработка почвы. Ежегодно пахотный слой планеты земледельцы сдвигают в сторону на 35...40 см. Огромные затраты энергии и не в полной мере обоснованные технологии минимальной и нулевой обработки часто приводят к переуплотнению почвы и способствуют засоренности полей сорняками. В ряде зон страны и отдельных полей в хозяйствах требуется использование почвозащитных технологий, предохраняющих от водной и ветровой эрозии. Летняя жара в экстремальные годы ставит задачу внедрения влагосберегающих технологий. Но ведь каждая технология может быть осуществлена многими способами, использующими те или иные рабочие органы, а тем более их параметры. Выбор способа обработки каждого поля, обоснование рабочих органов и режимов их работы представляет уже творческую деятельность.

Внесение удобрений. Низкое качество внесения удобрений не только снижает их эффективность, но порой приводит к негативным результатам (неравномерное развитие растений и как результат – неравномерное созревание, что затрудняет уборку, требует дополнительных затрат на сушку недозревшего урожая). Высокая стоимость удобрений привела к необходимости локального внесения и к так называемому точному, координатному земледелию, когда по предварительно составленным программам во время движения агрегата, ориентирующегося по спутниковым системам навигации, норма высева непрерывно регулируется.

Уход за растениями. Выбор химических препаратов, подготовка и внесение нужных доз в требуемом месте также связан с системами точного земледелия, компьютеризацией агрегатов.

Уборка урожая. Проблема современного комбайна. Машина очень дорогая, но не всегда эффективна. В частности, в плохую погоду он имеет очень низкую проходимость по полю, и работа в этих условиях связана с огромными потерями. Значительно травмируются семена. Ученые работают над более эффективными вариантами – обмолот на стационаре (кубанская технология), обмолот из скирд, оставленных в поле, при наступлении заморозков (казахская технология); технология невейки, когда легкая машина собирает зерно вместе с мелкой соломой и половой, а очистка ведется на стационаре; разновидности старинной сноповой технологии, когда снопы, например, связываются в крупные рулоны.

Послеуборочная обработка зерна. Прежде всего проблема сушки. В среднем по стране влажность зерна в момент уборки 20%. В нашей зоне (Западный Урал) – 24%. Чтобы зерно хранилось (кондиционная влажность зерна 14%), необходимо из каждой тонны зерна удалить 150...200 кг влаги. Но сушка – очень энергоемкий процесс. Просматривают в настоящее время и альтернативные варианты технологии – консервирование, хранение в защитной среде и т.д.

Внедрение координатного, точного земледелия ставит еще больше проблем. Требуется ориентирование в пространстве с очень высокой точностью (2...3 см), поскольку поле рассматривается как множество неоднородных участков, каждый из которых обладает индивидуальными характеристиками. Технология GPS и специальное оборудование для дифференциального внесения расходных материалов используется для оптимального внесения препаратов по мере прохождения поля агрегатом. Это позволяет создать на каждом участке поля наилучшие условия для роста растений, не нарушая при этом норм экологической безопасности.

Столько проблем имеет хорошо изученный и высокомеханизированный сейчас процесс возделывания зерновых культур. Гораздо больше их в вопросах механизации возделывания картофеля, овощных и технических культур, фруктов, ягод.

Очень много нерешенных проблем в механизации животноводства, звероводства.

Непрерывно совершенствуются тракторы, автомобили в направлении экономичности, безопасности, надежности. Но сама проблема надежности очень широка, она затрагивает качество изготовления, применяемые материалы, технологию обработки и сборки, методы технической эксплуатации, диагностики, технического обслуживания, ремонтнопригодности, наличие развитой дилерской и ремонтной сети и т.д.

3. ***Возможность творческого решения*** широкого круга задач, связанных с необходимостью поддержания работоспособности машин.

При работе машин в конкретных, порой тяжелых условиях, нередко обнаруживаются недостатки конструкции. Механизаторы часто их исправляют без глубокого обращения к науке. Где-то приварят упрочняющую пластину, усилят раму, улучшат доступ к смазочным местам, поставят предохранительные элементы в виде срезных болтов или штифтов.

Прежде всего сами наблюдения студентов за недостатками машин полезны. В заданиях на учебные и особенно производственные практики такая работа предписывается. Впоследствии устранение этих недостатков может составить тему курсовых и дипломных работ. Но внесение изменений в конструкцию необходимо фиксировать и осмысливать и с другой точки зрения. Они могут составлять предмет изобретения или рационализаторского предложения, в зависимости от степени новизны, творческого уровня и полезности.

Конкретный выбор темы, разумеется, индивидуален. Чаще всего задачи определяются опытом работы. Для молодых студентов, не имеющих опыта работы, успешным может быть подключение к исследованиям старшекурсников, аспирантов, преподавателей кафедр. Научная работа ведется всеми преподавателями факультета, и любой из них примет в свою команду добровольного помощника. Потери времени опасаться не нужно, так как они с лихвой будут компенсированы при выполнении курсовых проектов и дипломной работы, развитием творческого, инженерного, научного мышления, которое будет необходимо всю жизнь. Кружки научной студенческой работы организованы на всех кафедрах. Работа в них, как правило, индивидуальная, в свободное для студента и преподавателя время. Результаты работы могут быть представлены на ежегодных научных студенческих конференциях, а также всевозможных городских, региональных и всероссийских конкурсах студенческих работ.

Ну и самый отчаянный совет, тем, кто не может определиться с темой работы: «Если не знаешь, что делать – делай что-нибудь».

3. Информационное обеспечение научных исследований

Один из выдающихся специалистов по истории науки 20 века К.Поппер [3] указывал на необходимость исторического подхода к критически рациональной дискуссии по исследуемым вопросам.

«Исторический метод состоит, попросту говоря, в выяснении того что делали, говорили и думали по рассматриваемому вопросу другие люди. Если мы игнорируем что думают люди сейчас или думали в прошлом, то дискуссия иссякнет, хотя каждый из нас может вполне успешно разговаривать сам с собой».

Научные исследования, как правило, и начинаются с анализа существующих знаний в данной области. Разумеется, эти знания обеспечиваются предшествующими изысканиями в виде теоретических или экспериментальных исследований. Их уровень во многом определяется научно-техническим прогрессом (иногда говорят «уровнем техники»), состоянием культуры, образования общества. Объем и качество добытых знаний зависят от состояния научной школы, в которой предполагается проведение исследования, от уровня материально-технического обеспечения и организации научной работы.

Информация может быть получена исследователем самым неопределенным образом. Это может быть, например, изучение литературных источников, участие в работах всевозможных конференций, диспутов во время учебы, сведения из средств массовой информации, от друзей и знакомых и т.д. и т.п. Стремительный рост научно-технического прогресса привел к объему информации, который трудно поддается усвоению. По некоторым данным [4], «лишь в сфере технической информации ежедневно фиксируется свыше 20 миллионов слов, тогда как очень прилежный работник, способный за минуту прочесть 100 слов, просиживая за этими текстами 8 часов в день, сумеет переварить такой объем информации за месяц. Но когда он перевернет последнюю страницу текста, выясняется, что за это время накопилось информации еще на пять-шесть лет каторжного труда». Если даже учесть интересы только узкого специалиста, и то для него печатается порядка 100 страниц в день.

Анализ затрат времени показал, что для поиска информации по литературным источникам, итогам конференций, симпозиумов, семинаров, на оценку ее и обобщение в отчетах и рефератах тратится около 80...90% от времени всего исследования.

Случайный характер поступивших сведений и невозможный для восприятия их объем представляет большие проблемы для исследователя. Он никогда не может быть уверен в полной информированности по любому вопросу.

Существенную проблему в использовании современной информации составляет защита интеллектуальной собственности. Факт получения информации теперь не означает возможности ее использования.

Изменились требования к полноте и точности информации. Современная машина состоит из множества узлов и деталей, которые планирует покупать у смежников, достаточно часто у зарубежных.

В этом случае при проектировании необходимо знать очень многое о предполагаемых поставках (присоединительные и габаритные размеры, динамические свойства, сведения о надежности и т.п.). Наконец, изменилось и место специалиста в системе «информация-производство». Если раньше при достаточно полном штате специалистов в крупных хозяйствах они могли следить за новинками и внедрять их у себя, то сейчас, при наличии небольших фермерских и индивидуальных хозяйств, требуется консультационная служба, заинтересованная во внедрении новой техники и технологий. Специалист из, условно говоря, потребителя информации, должен стать ее источником для значительного круга сельских хозяйств. Внедрять новшества в своем и чужом хозяйстве – это далеко не одно и то же.

Перечисленные проблемы потребовали изменения системы научной и технической информации в стране. Согласно положению о государственной научно-технической информации, принятом Правительством РФ, в стране создана четырехуровневая система, включающая в себя федеральные, отраслевые и региональные органы, а также службы информации первичных организаций.

3.1. Государственная (федеральная) система научно-технической информации России и направления ее развития

Государственный уровень системы научно-технической информации России (ГСНТИ) представляет собой совокупность организаций различных форм собственности и ведомственной принадлежности, осуществляющих формирование и использование государственных информационных ресурсов в области науки и техники, объединяемых системой управления, единой нормативно-правовой базой, общей навигационной системой, технологическими принципами.

ГСНТИ помогает преодолеть трудности, возникающие у специалистов-потребителей информации:

- удаленность потребителя от источника информации;
- языковой «барьер»;
- необходимость отбора нужной информации в большом массиве сведений;
- временные задержки в получении появившейся информации;
- отсутствие времени для оценки и отбора информации, особенно из смежных отраслей, необходимость получения копий документов и др.

Специально выделенные организации и учреждения ГСНТИ разрабатывают, ведут и распространяют программные, лингвистические, технологические и другие общественные средства ГСНТИ.

Кроме того, в структуру ГСНТИ входят органы управления, функциональные блоки и обеспечивающие службы ГСНТИ.

В состав ГСНТИ входят:

- постоянная часть, состоящая из федеральных и региональных учреждений, осуществляющих формирование и использование государственных ресурсов из средств федерального или регионального бюджетов;

- переменная часть, включающая организации и предприятия, с которыми заключены контракты или субконтракты на создание и использование чаще всего некоторых специальных информационных ресурсов.

Совокупность постоянной (базовой) части и переменной (договорной) придает структуре ГСНТИ достаточно сложный динамический характер, позволяющий реагировать на взаимные изменения в составе документальных баз данных, носителей информации, новых направлений в развитии науки и техники.

Основными функциональными блоками ГСНТИ являются:

1. Блок реферативно-библиографического обслуживания (РБО).

Основная функция блока – мониторинг мирового рынка опубликованных научно-технических документов, включая электронные издания, их аналитико-синтетическая обработка, подготовка библиографических и реферативных баз данных и изданий вторичной информации. Головная организация блока РБО – Всероссийский научно-исследовательский институт научной и технической информации (ВИНИТИ);

2. Блок реестра Российской научно-технической документации (РНТД).

Основной функцией блока реестра является государственный учет и регистрация РНТД российских разработчиков (отчеты по НИР, диссертации, авторефераты, непубликуемые документы и т.д.).

Головной организацией блока РНТД является Всероссийский научно-технический информационный центр (ВНТИ Центр).

3. Блок первичной научно-технической информации.

Функция блока – формирование и поддержание за счет государственного бюджета общедоступных баз данных (БД).

Головная организация – Государственная публичная научно-техническая библиотека ГПНТБ России.

Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук ВИНИТИ РАН. Собирает информацию о документах из 130 стран мира на 66 языках в области точных, естественных и технических наук, обрабатывает ее и информирует специалистов в своих информационных изданиях, распространяемых по подписке и на машиночитаемых носителях. Основным информационным изданием является *Реферативный журнал* (РЖ ВИНИТИ). Он издается более чем по 200 тематическим рубрикам с периодичностью 1-2 раза в месяц. Официальный сайт в INTERNET – www.viniti.ru.

Специалистов по механизации сельского хозяйства касается Реферативный журнал «Тракторы и сельскохозяйственные машины и орудия».

К сожалению, срок обработки и издание материала в РЖ достаточно длительный (до 4 месяцев).

Более оперативной является так называемая «Экспресс-информация», которая публикуется по 16 тематическим направлениям 1-2 раза в месяц.

Это оперативное (1,5 мес.) издание, содержащее расширенные (примерно в 10 раз больше объема реферата РЖ) рефераты наиболее ценных статей из зарубежных профильных журналов и описаний изобретений.

В каждом выпуске содержится от 2 до 5 рефератов. Наряду с реферативной, ВИНИТИ обеспечивает и обзорную информацию по наиболее актуальным проблемам с периодичностью 4...12 выпусков в год. Кроме этого, ВИНИТИ ежеквартально выпускает сборники «Федеральные и региональные программы России», содержащие информацию об отечественных и зарубежных государственных и региональных программах, и методах реализации.

«Научно-техническая информация» – научно-технический сборник в двух сериях:

1. «Организация и методика информационной работы».
2. «Информационные процессы и системы».

Периодичность – 1 раз в месяц.

Помимо этого издается журнал «Международный форум по информации и документации» (периодичность – 4 выпуска в год);

«Бюллетень международных научных съездов, конференций, конгрессов, выставок».

По запросам специалистов ВИНИТИ предоставляет ряд услуг.

Прежде всего, это электронный РЖ ВИНИТИ, поиск, обслуживание запросов, предоставление баз данных и соответствующих программных средств. Кроме этого могут быть предоставлены копии первоисточников, отраженных в РЖ и БД ВИНИТИ. Роль, аналогичную ВИНИТИ, в области общественных наук выполняет институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук (ИНИОН РАН) (www.inion.ru).

В тематике оборонного комплекса ключевой организацией является «Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации (ВИМИ)» (www.vimi.ru).

Среди источников научно-технической информации значительную часть составляют непубликуемые документы. Чаще всего они предназначены для достаточно узкого круга специалистов и не представляют интереса для широкого круга читателей. Это, прежде всего, отчеты по выполненным исследованиям, кандидатские и докторские диссертации, а также рефераты к ним, алгоритмы, программы и т.п. Вместо публикации их *депонируют* в официальном учреждении, которое затем информирует потребителя о материалах, поступивших на учет.

Такой организацией является Всероссийский научно-технический информационный центр Министерства науки и технологий РФ. (ВНТИЦ, <http://www.vnic.org.ru>).

Информационные издания центра:

1. Библиографическая информация:

- бюллетень регистрации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИР и ОКР) в 27 тематических сериях – периодичность 4 выпуска в год;

- библиографический указатель «Информационные листки о научно-технических достижениях и инновациях». Периодичность 4 выпуска в год.

2. Реферативная информация содержится в «Сборниках рефератов НИР и ОКР», издающихся по 28 тематическим сериям с периодичностью 6 выпусков в год.

3. Информационный бюллетень «Алгоритмы и программы» содержит информацию о зарегистрированных в Государственном фонде алгоритмах и программах (ГОСФАП) в программных средствах и выходит с периодичностью 4 выпуска в год.

4. Справочная информация: «Организации научно-технической сферы» – издание, содержащее информацию о 4000 организаций (НИИ, ПКБ, вузах, НПО, научных центрах, государственных предприятиях, акционерных обществах и фирмах);

- «Научные кадры высшей квалификации» – продолжающееся издание об ученых, защитивших докторские диссертации и др.

В виде дополнительных услуг ВНИТИЦ обеспечивает:

- поиск в базах данных учетных карт диссертаций, пояснительных записок к НИР и ОКР;

- микро- и ксерокопирование отчетов по НИР и ОКР;

- создание и ведение проблемно-ориентированных баз данных и т.п.

Среди источников научно-технической информации своеобразную часть составляют документы, относящиеся к изобретениям, полезным моделям, товарным знакам, знакам обслуживания и наименованиям мест происхождения товаров и т.п.

Особенностью этой информации является то обстоятельство, что помимо технической части, она несет еще правовую, обеспечивающую защиту интеллектуальной собственности от несанкционированного использования.

Сбор сведений и информацию по этой части источников осуществляет ВНИИПИ – Всероссийский научно-исследовательский институт патентной информации.

Информационные издания ВНИИПИ.

Официальные издания Роспатента:

- бюллетень «Изобретения (заявки и патенты)» с годовым указателем;

- бюллетень «Полезные модели. Промышленные образцы» с годовым указателем;

- бюллетень «Товарные знаки, знаки обслуживания и наименования мест происхождения товаров» с годовым указателем;

- описания изобретений к зарегистрированным патентам;

- рефераты описаний изобретений Российской Федерации на английском языке (на оптических дисках);

- нормативные документы Российской Федерации в области промышленной собственности.

Официальные издания Евразийского патентного ведомства:

- бюллетень «Изобретения (Евразийские заявки и патенты)»;

- описания изобретений к Евразийским патентам.

Другие издания.

Информация о промышленной собственности за рубежом:

- «Изобретения стран мира» - тематические выпуски, содержащие рефераты или выдержки из формулы «чертежи и библиографические данные из описаний изобретений текущей регистрации ВОИС, ЕПВ, Великобритании, Германии, США, Франции, Швейцарии и Японии (периодичность 1-2 выпуска в месяц);

- «Промышленные образцы зарубежных стран» - издание содержит сведения о промышленных образцах (включая изображения), зарегистрированных в ВОИС, Австралии, Германии, Норвегии, США, Финляндии, Швеции, Швейцарии (периодичность 2 выпуска в год).

Информационные издания:

- «Каталог переводов описаний изобретений», выполненных ВНИИПИ до 1996 г.;

- библиографический указатель «Патентно-ассоциируемая литература». Подготавливается на основе издания ВОИС «Журнал патентно-ассоциируемой литературы» по странам-участницам «Договора о патентной информации»;

- указатель «Внедренные изобретения»;

- реферативный сборник «Патентное дело» (дайджест российской и зарубежной прессы).

Справочно-поисковый аппарат:

- классификационные материалы к патентным фондам – Международная патентная классификация, классификация изобретений США, алфавитно-предметные указатели к этим классификациям, различные таблицы соответствия, Международная классификация товаров и услуг;

- библиографические указатели к патентным фондам.

Научные, нормативные, учебные и методические издания по вопросам интеллектуальной собственности.

Значительно облегчить работу с иностранной литературой может Всероссийский центр переводов (ВЦП) (<http://www.vc-p.ru>). ВЦП осуществляет письменные переводы технической литературы и документации со всех западноевропейских, основных восточных и редких языков, а также языков стран Балтии, СНГ, Азии на русский язык и с русского на основные европейские.

В ВЦП можно заказать:

- письменный перевод документации любого типа, с соблюдением конфиденциальности (переводы статей, рефератов, ваших материалов для публикации за рубежом и т.д.);

- переводы документов технического направления (инструкций, руководств и т.д.);

- переводы документов юридического, нормативного и учредительного типа;

- перевод таких документов, как договоры, экономические и финансовые отчеты;

- переводы бизнес-планов, контрактов, деловой переписки;

- переводы сопроводительных документов для предоставления в сертификационные и таможенные органы;

- переводы личных документов (в том числе для выезда за рубеж).

Все документы могут быть заверены нотариально, легализованы в Минюсте России или заверены специальным штампом и скреплены гербовой печатью ВЦП.

Центром Российской национальной библиографии являются Российская книжная палата, Государственная публичная научно-техническая библиотека, Библиотека Российской академии наук.

Типографии России печатают небольшое количество экземпляров продукции сверх тиража и направляют их по обязательному списку в ведущие библиотеки и Российскую книжную палату, в которой организован архив печатной продукции.

Российская книжная палата ведет летописи:

- «Книжная летопись», отражающая все книги, изданные в РФ, в том числе монографии, словари, справочники, энциклопедии, учебники, продолжающиеся издания и т.д.

- «Летопись журнальных статей» отражает (выборочно) статьи из журналов и продолжающихся изданий;

- «Летопись газетных статей» отражает (выборочно) статьи из центральных газет.

Периодичность издания этих, основных летописей составляет 1 выпуск в неделю.

С периодичностью 1 выпуск в месяц выпускаются:

- «Летопись изданий», «Летопись рецензий», «Летопись авторефератов диссертаций».

«Нотная летопись», «Картографическая летопись» выпускаются с периодичностью 2 и 6 месяцев. Кроме летописей РКЦ, выпускает куммулятивный сборник «Книги Российской Федерации», являющийся справочником по всем книгам и брошюрам (периодичность 4 выпуска в год) и «Библиография Российской библиографии», в котором отражены как отдельно изданные библиографические указатели, так и списки, опубликованные в журналах, сборниках и т.д. Периодичность издания 2 выпуска в год.

Все обрабатываемые РКЦ документы отражены в автоматизированном банке данных Российской национальной библиографии.

Значительными особенностями среди источников НТИ обладает так называемая «нормативная» информация, ведущая сбор, учет и распространение сведений о новых и действующих в стране ГОСТах, ОСТах, технических условиях и т.п.

При рыночной экономике эта информация очень востребована, так как любой предприниматель должен, прежде всего, найти требования на качество предполагаемой продукции и изучить свойства сырья, материалов и веществ, необходимых для производства.

Сбор, обработку и распространение информации по этому направлению осуществляет информационный блок, включающий:

- Всероссийский научно-исследовательский институт проблем машиностроения;

- Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации;

- Всероссийский научно-исследовательский центр стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ Госстандарта РФ.

В последнее время к этим организациям добавилась консультационно-внедренческая фирма в области международной стандартизации и сертификации «ИНТЕРСТАНДАРТ».

Необходимость создания и использования международных стандартов и соответствующей научно-технической информации возникла в связи с тем, что современное производство основано на использовании в конструкции любой сложной машины узлов и деталей, производимых смежными предприятиями и фирмами, в которых, благодаря узкой специализации, соответствующие изделия доведены до совершенства. В работе [5] в качестве примера международного сотрудничества приведены поставщики для автомобиля «Opel Astra» (рис. 3.1).



Основные поставщики компонентов:

электрооборудование – «Leoni», «Hella», «TRW ZF Lenksysteme», «Zizala»;
резинотехнические изделия – «Scapa», «Freudenberg», «Gates», «Bridgestone»;
двигатель и трансмиссия – «Bosh», «Benteler», «Borgwarner», «Getrag», «MHI Equipment Europe» и др. (всего 40 фирм)

Рис. 3.1. Автомобиль «Opel Astra»

Этот пример подтверждает, что в настоящее время уже не существует жестких географических границ, способных ограничивать обмен продукцией и тем более информацией. А если учесть еще поставщиков материалов и комплектующих, то в процессе производства одного конечного изделия включены сотни, а иногда и тысячи участников.

Использование комплектующих многочисленных фирм невозможно без разработки международных стандартов, точно так же, как в свое время промышленность была поддержана системой единых стандартов, обеспечивающих хотя бы взаимозаменяемость деталей. Степень детализации таких стандартов должна быть очень велика. Оказываются необходимыми сведения о конструкции, вплоть до чертежей, сведения о режимах работы,

результаты испытаний, технологии обслуживания и т.д. и т.п. Так объем только одного из многих прикладных протоколов, например, AP 214 «Базовые данные для проектирования автомобиля» составляет 2698 страниц [5]. В его разработке принимали участие крупнейшие компании “Audi”, “Mercedes”. “Opel”, “Volkswagen” в Германии, “Scania”, “Volvo” в Швеции, “Honda”. “Mitsubishi”, “Nissan” “Toyota” в Японии, “Ford”, “General Motors” в США, “PSA Peugeot Citroen” “Renault” во Франции.

В сферу действия стандарта входят:

- изделия автомобилепроизводителей и их поставщиков, включая детали, сборочные единицы, инструментальные средства и сырьевые материалы;
- технологическая информация, используемая для производства изделий и управления промежуточными стадиями разработки инструментов или деталей;
- данные определения изделия и данные контроля конфигурации для управления большим числом модификаций автомобильных изделий на этапе конструирования;
- данные, описывающие изменения, которые произошли в течение этапа конструирования;
- идентификация физически реализованных частей или инструментальных средств, например, для изготовления прототипа;
- идентификация стандартных частей, основанных на международных или национальных стандартах;
- данные о выпуске изделий;
- данные, которые идентифицируют поставщика изделия, и соответствующая контактная информация;
- данные, которые относятся к предоставлению формы изделия;
- документация об изделии, представленная в чертежах;
- ссылки на документацию об изделии, представленную в формате, отличающемся от указанного;
- данные моделирования для описания кинематических структур;
- размерные и геометрические данные о допусках.

Все разрабатываемые стандарты ориентированы на безбумажное, компьютерное использование, что существенно сокращает сроки проектирования новых изделий, тем более при автоматическом проектировании.

Опыт ведущих фирм мира показывает, что время разработки и постановки на производство новой модели автомобиля можно сократить до 1,5...2 лет.

Начало разработки CALS - технологий (CALS –аббревиатура английского термина Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия) относится к середине 1970-х годов, когда в оборонном комплексе США возникла необходимость в оперативном электронном обмене данными.

Сегодня CALS – технологии получили достаточно широкое распространение во многих развитых странах. В мире действуют уже более 25 национальных организаций, занимающихся совершенствованием и внедрением этой системы.

В США создана Национальная информационная инфраструктура (НИИ), с появлением которой происходит трансформация всего подхода к ведению бизнеса в глобальном масштабе.

В России CALS-технологии нашли применение в авиастроении, предприятиях «Атоммаша», в автомобильном и сельскохозяйственном машиностроении.

В настоящее время под эгидой Росстандарта и Минпромнауки создан научно-исследовательский центр (НИЦ) CALS-технологии. В работе, выполненной под руководством одного из ведущих специалистов нашей страны в области тракторостроения академика И.П. Ксеновича [5], приведены результаты использования CALS-технологий для обоснования основных требований к параметрам мобильного энергетического средства сельскохозяйственного назначения.

Оказалось, что за счет непрерывной информационной поддержки жизненного цикла возможно сокращение не только времени проектирования, но и сокращения суммарного расхода энергии в 1,5...2 раза, конструкционных материалов на 25...30%, получить экономию топлива до 1200...1500 кг на один трактор в год.

В конструкцию новых универсально-пропашных тракторов (рис. 3.2) удалось внедрить ряд новых технических решений, обеспечивающих конкурентоспособность как на внутреннем, так и зарубежном рынке.

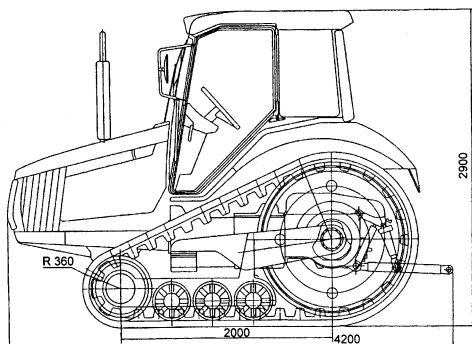


Рис. 3.2. Ресурсосберегающий экологически безопасный трактор тягового класса 1.4

Таким образом, CALS-технологии представляют собой одно из предметно-ориентированных направлений развития научно-технической информации, возникшее в связи с требованиями современной промышленности, науки и технологии. Вполне возможно появление аналогичных направлений, например, в области экологического проектирования, менеджмента, защиты интеллектуальной собственности и др.

3.2. Система научно-технической информации АПК России

Основу ведомственного уровня НТИ многие годы составляли отраслевые центры научно-технической информации и технико-экономических исследований. В их функции входил сбор документов и информация о них специалистов отрасли с использованием реферативных журналов, экспресс-информации, информационных листков, библиографических списков и т.д.

Применительно к информации многоотраслевого агротехнического комплекса были привлечены Всероссийский институт научной и технической информации и технико-экономических исследований (ВНИИТЭИСХ) от Министерства сельского хозяйства и Центр Информагротех системы «Сельхозтехника».

В настоящее время в результате объединения ВНИИТЭИСХ и Всероссийского научно-исследовательского института экономики сельского хозяйства (ВНИИЭСХ) создан Центр информации и технико-экономических исследований агропромышленного комплекса (ЦИ «ТЭАгропрома») и Федеральное государственное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГНУ «Росинформагротех»).

Основная направленность ЦИ «ТЭИ Агропрома» – информирование и ведение автоматизированных баз данных государственных информационных ресурсов по сельскому хозяйству, осуществлению сопоставимого анализа зарубежных и отечественных информационных источников в области АПК и подготовки информационных аналитических, обзорных, прогнозных и статистических материалов, доведение их до потребителей, в том числе органов исполнительной и законодательной власти (комитетов Госдумы и Совета Федерации, аппарата Минсельхоза РФ и президиума Россельхозакадемии).

Центр информации готовит оперативную информационную продукцию – служебные информационные сообщения, проводит работу по депонированию рукописей научных работ, осуществляет реферирование зарубежных литературных источников для выпускаемого совместно с центральной научной сельскохозяйственной библиотекой (ЦНСХП) реферативного журнала «Экономика сельского хозяйства».

В настоящее время Центр информации располагает пятью автоматизированными базами данных, имеет Web-страницу в Интернете, готовит материалы для Международного института информации по сельскому хозяйству САВУ.

Специализацией «Россельхозагротеха» является:

- механизация и электрификация сельского хозяйства;
- технологический сервис, использование машинно-тракторного парка;
- экономика инженерно-технического обеспечения системы АПК;
- машины и оборудование для перерабатывающих отраслей;
- развитие сельских территорий;
- государственный надзор за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники.

В рамках этих направлений Росинформагротех ведет:

- научно-исследовательские работы;
- анализ, обобщение и распространение научно-технических достижений и передового опыта;
- информацию о государственных испытаниях и сертификации сельскохозяйственной техники;

- информационно и нормативно-техническое обеспечение служб Гостехнадзора;
 - информационно-консультационное обеспечение предприятий и организаций АПК;
 - информационно-выставочную деятельность;
 - подготовку научных кадров (аспирантура);
 - издательско-полиграфические работы.
- Научно-информационной продукцией Росинформагротеха являются:
- аналитические и прогнозные материалы, научные доклады, отчеты о НИР и др.;
 - каталоги, справочники, учебные пособия, обзоры, брошюры, библиотечки консультанта и передового опыта, информационные листки по новой технике, журналы, научно-методические и другие документы;
 - базы данных (документальная, полнотекстовая, фактографическая и др.);
 - комплекты информационных материалов по запросам на основе ретроспективного автоматизированного поиска.

3.3. Региональный уровень системы научно-технической информации

Ведущими организациями этого уровня являются межведомственные территориальные центры научно-технической информации (ЦНТИ) и краевые (областные) публичные библиотеки. Например, Пермский Центр НТИ, который является одним из крупнейших в России, обеспечивает информационную поддержку предприятий и организаций Пермского края и Башкирии. Он на договорной основе обеспечивает информационную поддержку науки, производства, управления, предпринимательства, инновационно-технологической деятельности, развития рынка научно-технической продукции.

ЦНТИ включает в себя ряд отделов и специализированных центров, техническую библиотеку.

Отдел нормативно-технической документации имеет фонд, содержащий полный комплект действующей нормативной документации: ГОСТ, ОСТ, ТУ, стандарты международной организации по стандартам (ISO), рекомендации Международной электротехнической комиссии (МЭК), СТСЭВ. Имеются сведения обо всех изменениях нормативной документации.

Информационный центр STN INTERNATIONAL - это единственный в регионе, один из восьми в России канал доступа к международной сети научно-технической и деловой информации *STN INTERNATIONAL*.

Сеть содержит около 350 млн. документов практически во всех областях науки и техники.

Научно-образовательный центр (НОЦ) создан в целях совершенствования профессиональных знаний и деловых качеств специалистов.

В структуре НОЦ:

- подготовка и повышение квалификации специалистов;

- подготовка рабочих кадров;
- промышленная безопасность и охрана труда;
- дополнительное образование;
- общественный институт патентования;
- дистанционное образование.

Патентный отдел. Патентный фонд Пермского ЦНТИ комплектуется по всему тематическому диапазону междурядной патентной классификации и насчитывает свыше 8 млн. единиц информации. В нем содержатся отечественные авторские свидетельства, патенты, а также единственный в регионе фонд патентов Великобритании, Венгрии, Германии, США, Франции, Японии, Швейцарии, Чехословакии и других зарубежных стран.

Здесь же представлены бюллетени (заявки и патенты). «Полезные модели», «Изобретения стран мира», «Промышленные образцы», «Товарные знаки», знаки обслуживания и наименование мест происхождения товаров, периодические издания патентных ведомств, законодательные акты по изобретательству, вопросам патентования. Специалисты отдела могут оказать помощь в проведении патентного поиска и проконсультировать по вопросам промышленной собственности.

Отдел интеллектуальной собственности и технологической безопасности осуществляет патентные исследования с оформлением и организацией услуг:

- по выявлению, приобретению и правовой охране всех видов интеллектуальной собственности;
- подготовке к заключению и регистрации договоров по передаче лицензий на все виды интеллектуальной собственности;
- по оценке и экспертизе расчетов стоимости интеллектуальной собственности;
- судебно-арбитражной защите интересов владельцев интеллектуальной собственности;
- по предоставлению нормативно-правовых актов и тематических подборок по патентному и авторскому праву;
- обеспечению регулирования правоотношений между авторами, работодателями и третьими лицами;
- по защите прав в Патентном ведомстве, в том числе представительство (составление и подача возражений в Апелляционную палату, составление и подача жалоб, заявлений и ходатайств в палату по патентным спорам).

Техническая библиотека ЦНТИ является наиболее полной в Пермском крае по этому направлению знаний. Помимо книг и журналов в ней можно найти библиографические списки, рефераты, переводы технических изданий, публикации на микроплёнке и в виде микрофиш.

В библиотеке имеется межбиблиотечный абонемент, позволяющий пересылать книги ЦНТИ в библиотеки предприятий и организаций.

Краевая библиотека им. А.М. Горького, так же как и ЦНТИ, является частью государственной системы информации, центром отраслевой информации по проблемам культуры и искусства, науки, промышленности и

сельского хозяйства. Она является центральным книгохранилищем произведений печати Западного Урала, в т.ч. краеведческой литературы, относящейся к особо ценным объектам культурного наследия.

Библиотека предоставляет возможность бесплатного пользования ее фондом, за исключением изданий, находящихся на грани полного исчезновения и дорогостоящих текущих периодических изданий.

Библиотека является методическим центром для библиотек Пермского края, центром исследовательской работы по проблемам библиотечного дела, рекомендательной библиографии, информатизации библиотек, межбиблиотечного абонементов.

3.4. Научно-техническая информация на предприятиях и в организациях. Библиотечное обслуживание

Замыкающим звеном государственной системы научно-технической информации являются соответствующие службы на предприятиях и в организациях (отделы НТИ, бюро НТИ и т.п.).

В тех организациях, где специализированных отделов нет, эти функции возлагаются на библиотеки или (когда нет и библиотек) на конкретных сотрудников.

Опыт ряда служб НТИ передовых сельскохозяйственных предприятий позволяет выделить следующие их основные функции:

- изучение, отбор, экспертная оценка и рекомендация новшеств науки, техники, передового опыта к внедрению в производство;
- разработка и обоснование проектов планов внедрения достижений науки, техники и передового опыта в производство, внесение их в установленном порядке для обсуждения и утверждения;
- организация научно-технической пропаганды, включая участие в отборе и подготовке экспонатов для выставок; подготовка творческих командировок специалистов в передовые хозяйства с целью изучения опыта;
- выявление и изучение действительной информационной потребности руководителей, специалистов, новаторов хозяйства;
- подготовка необходимых документов для заключения договоров с органами НТИ на информационное обслуживание хозяйства;
- оформление разовых запросов специалистов на справочную, фактографическую, аналитическую и другую информацию;
- подготовка информационных карт на внедрение рационализаторских предложений и изобретений, на новые технологические процессы и т.д.;
- оценка вкладов новаторов в производство и рекомендация их материального и морального стимулирования [8].

В высших учебных заведениях функции звена НТИ обычно выполняет библиотека. Помимо своей основной функции сотрудники библиотеки организуют выставки новых поступлений, подбор литературы в помощь студентам при выполнении курсовых и дипломных работ, оформляют стенды к знаменательным датам и т.д.

Поиск необходимой литературы в современной библиотеке немалым без системы каталогов. Библиотечные каталоги возникли в глубокой древности. Свидетельством наличия каталогов являются фрагменты дошедших до нас надписей на стенах храмовых библиотек, глиняные таблички с каталожными записями и пр. Древнейший из известных каталогов «Перечень ящиков, содержащих книги в больших свитках из кожи» (Египет, Эдфу), содержал опись храмовой библиотеки, находящейся в 34 ящиках и был выгравирован на стене.

Библиотека Ашшурбанипала (Ниневия, в междуречье Тигра и Евфрата, на территории современного Ирана VII в. до н.э.) имела обширный каталог на глиняных табличках, выполняющих функции современных каталожных карточек.

Большой известностью пользовался каталог Александрийской библиотеки, составленный ее библиотекарем, выдающимся поэтом и ученым Каллимахом в 260...240 гг. до н.э. «Таблицы» Каллимаха были одновременно как каталогом самой Александрийской библиотеки, имеющей до 100 тысяч лучших произведений, так и первым в истории сводным каталогом, потому что содержали сведения об отсутствующих в фондах произведений с указанием места их хранения.

В средние века в монастырских библиотеках каталоги приобрели вид инвентарных описей (часто в виде книг, прикованных цепями к стеллажам библиотеки).

Записи велись либо по мере приобретения, либо по авторскому признаку, либо на отдельных страницах, по соответствующим библиотечным полкам (в этих случаях топографический каталог часто становился прообразом систематического, так как книги удобнее всего было расставлять по отраслям).

Начало каталоговедения было положено в XVI-XVII вв [8]. Ф. Трефлер в 1560 г. дал перечень каталогов, которые должны быть в библиотеке. Г. Ноде в 1627 г. изложил требования к каталогам и классификации.

В отечественной практике первые работы в области каталоговедения относятся к XIX веку, инструкция по книгоописанию была составлена А.Н. Олениным в 1809 г., а в 1858 г. В.И. Соболевский опубликовал свой труд «Об устройстве общественных библиотек и составлении их каталогов».

На первых этапах построение каталогов основывалось на использовании так называемой перечисленной классификационной системы, и имело последовательную, нумерационную систему единственного ряда делений: 1, 2, 3...10, 11, 12, ...,20, 21, 22,...). Затем классификации последовательно развивались от дихотомных (в которых каждый класс мог подразделяться только на два подкласса, к многомерным, содержащим классы и подразделы, например: А, А1, А2, А3; В, В1, В2, В3 и т.д.).

В 1876 г. выдающийся американский библиотекарь М. Дьюи (1851...1931 гг.), проанализировав библиотечную практику, предложил установить для каталожной карточки единый размер – 125×75 мм, или 5×3 дюйма. Карточка должна была иметь 10 горизонтальных строк и две верти-

кали (линия полей и линия абзацного отступа), отверстие в нижней части для стержня, удерживающего ее в каталожном ящике.

М. Дьюи сконструировал несколько вариантов каталожных шкафов различной емкости.

Каталожная карточка М. Дьюи очень быстро была признана во всем мире, и с 1 января 1901 г. крупнейшая в мире Библиотека Конгресса США стала издавать и рассыпать по библиотекам печатные книжные карточки.

Еще более значимой заслугой М. Дьюи стала разработанная «Десятичная классификация» (1876 г.), которая стала наиболее распространенной в мире ДКД (Десятичная классификация Дьюи) используется в 135 странах, в основном Америке, Азии, Африке). На своей родине, в США на ее основе работают 95% публичных библиотек, 25% от общего числа колледжей и университетов, 20% специальных библиотек. ДКД переведена на 30 языков мира. Впоследствии типовые деления ДКД выделились в самостоятельные таблицы, а ее стали называть DDC (Dewey Decimal Classifications).

Основные деления ДДС-21 (русский перевод дан издательством OCL Forest Press, приводится по плакату «Мир огромен. Мы его систематизировали». 2000):

- 000 Generalities. Компьютеры, информация и общие вопросы.
- 000 – компьютеры, Интернет и системы;
- 010 – библиографии;
- 020 – библиотековедение и информатика.
- 100 – Philosophy, paranormal, psychology Философия и психология;
- 100 – философия;
- 110 – метафизика;
- 120 – эпистемология.
- 200 – Religion – религия.
- 210 – философия и теория религии;
- 220 – библия.
- 300 – Social sciences – общественные науки.
- 400 – Language - язык
- 500 – Natural sciences and mathematics - наука
- 600 – Technology – технология;
- 700 – The arts. Fine arts and decorative arts – искусство и отдых;
- 800 – Literature – литература;
- 900 – Geography, history and auxiliary disciplines – история, география.

В библиотеках России в основном используется другая, Универсальная десятичная классификация (УДК), но и знание ДДС необходимо при работе в зарубежных библиотеках, с библиографическими источниками, при печати в зарубежных журналах и т.п.

Подробное описание ДДС можно найти в Internet и на оптических дисках «Electronic Dewey DDC-20» и Windows DC-21».

Универсальная десятичная классификация (УДК), разработанная в 1895...1905 гг. П. Отле и А. Лафонтеном на основе таблиц М. Дьюи, оказалась наиболее мощной по содержанию (свыше 220 тыс. делений), удобной

для использования благодаря своим комбинационным качествам и индентификационной базе. Система поддерживается Международным библиографическим институтом, Международным институтом по документации, Международной федерацией по документам.

В СССР УДК введена с 1963 года в научно-технических издательствах, редакциях научно-технических журналов, в организациях научно-технической информации, научно-технических библиотеках [9].

В самом кратком изложении УДК содержит следующие классы литературных источников:

- 0 – библиотечное дело;
- 1 – философия;
- 2 – атеизм, религия;
- 3 – общественно-политическая литература;
- 4 – планированный свободный класс;
- 5 – математика, естественные науки;
- 6 – прикладные знания;
- 7 – искусство;
- 8 – языкознание, филология, хозяйственная литература;
- 9 – география, история, биографии.

Вся техническая и сельскохозяйственная литература относится к шестому классу, в котором

- 6.0 – прикладные знания в целом (общие вопросы);
- 6.1 – медицина;
- 6.2 – техника в целом;
- 6.3 – сельское хозяйство.

Добавление новых цифр к номеру УДК конкретизирует содержание, например:

- 631 – общие вопросы сельскохозяйственного производства;
- 632 ... 639 отдельные отрасли сельского хозяйства (полеводство, животноводство, садоводство и т.д.)

К общим вопросам относятся, например:

631.1 – организация и управление сельскохозяйственным производством;

631.2 – сельскохозяйственные постройки;

631.3 – сельскохозяйственная техника.

При дальнейшей конкретизации из этой рубрики выделяют:

- 631.31 – почвообрабатывающие машины;
- 631.32 – машины для внесения удобрений;
- 631.33 – посевные и посадочные машины;
- 631.34 – машины по уходу за растениями;
- 631.35 – уборочные машины;
- 631.36 – машины для первичной обработки с.-х. продукции;
- 631.37 – машины для создания приводного тягового усилия;

При классификации по УДК кроме линейного деления используют специальные определители, например:

- 02- рабочие органы;

- 06 – характеристики комбинированных машин;
- 07 – подразделение по виду тяги (прицепные, навесные, самоходные);

631.312.021 – корпуса плугов;

631.312.021.3 – лемехи плугов;

631.33.02 – детали посевных машин.

Могут быть очень сложные номера с использованием обозначений:

– 1 присоединения (+), читается (и), допустим, 5+62 – «естествознание и техника»;

– распространения (/), читается «от-до», допустим, 631.31/33, «от почвообрабатывающих до посевных и посадочных машин»;

– отношения (:, двоеточие, служит для обозначения взаимосвязи двух и более понятий).

Одновременное использование специальных определителей, знаков может стать причиной образования достаточно сложных номеров УДК, например:

631.3.002:536.51/53:631.563

следует прочесть – «Приборы для измерения температуры при хранении с.-х. продукции», с учетом того, что 631.3 – с.-х. техника;

002 специальный определитель – приборы;

536.51/53 – методы термометрии;

631.563 – хранение с.-х. продукции.

С 1997 научно-технический центр «Ректор», получивший от международного Консорциума по УДК (УДКК) право перевода, издания и распространения таблиц УДК в России и СНГ, приступил к изданию полного перевода эталона УДК на русский язык.

Новые таблицы публикуются под названием «Универсальная десятичная классификация. Четвертое полное издание» в 10-и основных и 2-х дополнительных томах, содержащих алфавитно-предметный указатель.

Библиотечно-библиографическая классификация (ББК) создавалась как отечественная система классификации, основанная на научном принципе классификации наук [10].

В любой библиотечной классификации лежит общая (философская) классификация наук. Однако философские классификации наук чаще всего носили субъективный, искусственный характер, а выявить сущностный, объективный классификационный признак не удавалось. Впервые такой признак был обнаружен и обоснован Ф.Энгельсом в работе «Диалектика природы». В этой работе обращается внимание на то, что каждая наука анализирует отдельную форму движения или ряд взаимосвязанных между собой. В результате логических рассуждений ряд наук классифицируется по изучаемой форме движения – от простейшего к более сложной: механика, физика, химия, биология, общественные науки, философия.

Сама по себе идея увязки библиотечных классификаций с научно-обоснованной классификацией наук, особенно в условиях научно-технических революций, не так уже плоха. Неприятности у ее разработчиков начались в связи с излишней политизацией данной работы. В результа-

те отношение государства к этому труду было от «мобилизации всех научных ресурсов страны» (30...40 гг. XX – в) до предложения «продолжить эту работу для себя, оставив страну в покое» (1955 г.). Тем не менее, в 1981 г. группе создателей ББК присуждена Государственная премия СССР в области науки.

Для ББК используется смешанная буквенно-цифровая индексация. Универсум знаний был разделен на три комплекса: естественные науки – Б/Е (выпуск 3-6), прикладные науки – Ж/О, общественные и гуманитарные науки С/Ю. Перечень основных делений возглавлялся разделом А – «Марксизм-ленинизм» и завершался разделом Я – «Литература универсального содержания». Прописные буквы русского алфавита для научных и областных библиотек заменены цифровыми индексами. В результате этого исходный ряд ББК до 90х годов выглядел в соответствии с табл. 3.1.

Таблица 3.1

Структура ББК

Цифровая рубрикация	Содержание разделов	Буквенная рубрикация
1	Марксизм-ленинизм	А
2	Естественные науки	Б/Е
3	Техника, технические науки	Ж/О
4	Сельское и лесное хозяйство	П
5	Здравоохранение, медицина	Р
6/8	Общеобразовательные и гуманитарные науки	С/Ю
9	Литература универсального содержания	Я

Раздел 4 – Сельское и лесное хозяйство, в свою очередь, конкретизируется добавлением цифр к основному индексу, например:

40 (или ПО, если основная индексация буквенная) – естественнонаучные и технические основы сельского хозяйства.

41/43 (П1/П9) – отдельные отрасли сельского и лесного хозяйства.

Общий раздел 40 включает в себя:

40.0 – с.-х. биологию, (ПОО);

40.1 – агрофизику;

40.2 – агрометеорологию;

40.7 – (ПО7) механизацию и электрификацию сельского хозяйства;

40.9 – (ПО9) – агрогеографию.

Более конкретное содержание рубрики 40.7 (П.07):

40.71 – механизация и электрификация отдельных отраслей;

40.72 – сельскохозяйственные машины и орудия, тракторы.

В свою очередь:

40.721 – тракторы с.-х. назначения;

40.722 – почвообрабатывающие машины;

40.723 – мелиоративные машины;

- 40. 724 – посевные и посадочные машины;
- 40.725 – машины и аппаратуры для ухода за растениями;
- 40.726./40.728 – машины для уборки и обработки урожая.

В 90-х годах ББК оказалась вновь в состоянии глубокого кризиса, вызванного изменениями в жизни страны. К 1996 г. удалось преодолеть наиболее существенные противоречия в содержании системы и новых реалиях общества.

Класс А/1 «Марксизм-ленинизм» закрыт, а его содержание перегруппировано в другие разделы. Внесены исправления и дополнения, отражающие наиболее важные изменения в науке и политической жизни.

В настоящее время ББК продолжает оставаться национальной классификационной системой, по которой организованы фонды и каталоги крупнейших библиотечных сетей (областные, краевые, районного и городского уровня), детские библиотеки, национальные библиотеки республик в составе РФ, сеть школьных библиотек, часть библиотек высших и средних учебных заведений, большая часть военных библиотек и т.д.

В части библиотек, использующих УДК, по таблицам ББК до последнего времени организуются разделы по общественным наукам. Помимо России ББК используют в Монголии, Вьетнаме, Белоруссии и на Украине.

В Европе и Японии в основном работают по УДК, а в Америке – ДКД и КБК (классификация библиотеки Конгресса США), единственная в мире из оставшихся перечислительных систем, но осуществляющая доступ для читателей в книгохранилище, содержащее несколько миллионов томов).

Национальные системы имеют Швеция, Китай. В некоторых странах вообще нет единой системы. Так в Германии практически каждый университет имеет свою собственную систему классификации, что, несомненно, создает проблемы при организации сводных каталогов.

По УДК или ББК в отечественных библиотеках организуют систематические каталоги. Ключом к ним является, как это было уже отмечено, предметный каталог, где библиотечные записи располагаются в алфавитном порядке предметной рубрики.

Помимо этих в библиотеках могут быть:

- *алфавитный каталог*, в котором библиотечные записи располагаются в алфавитном порядке лиц, наименований организаций или заглавий документов;
- *нумерационный каталог*, в котором библиотечные записи располагаются в порядке присвоенных документам номеров;
- *географический*, топографический, региональный, краеведческий, словарный, картотеки журнальных и газетных статей, авторефератов и др.

Опыт показывает, что различные формы библиотечных каталогов должны существовать во взаимосвязи и дополнять друг друга.

Важнейшими направлениями совершенствования библиотечных систем является создание *электронного каталога* и так называемой *конверсии каталогов*, осуществляющих перевод библиотечных каталогов из одной формы в другую или в машиночитаемую.

Связь с Интернет:

<http://lib.ru> – Библиотека Машкова – более 1,5 Гбайт текстов.

<http://russ.ru.krug.biblio> - новости электронных библиотек.

<http://www.cl.spb.ru.iptill.library> - тематический каталог русских электронных библиотек сети Internet.

<http://bucinist.agava.ru> – поисковая система «Букинист» для поиска книг и других электронных текстов, имеющихся в сети Internet.

При работе над рефератом, курсовой или дипломной работой, тем или иным исследованием, прежде всего, изучают монографии, т.е. книги, в которых изучаемый предмет рассмотрен основательно, с разных точек зрения, обычно в исторической последовательности и заканчиваются обширным библиографическим списком. К сожалению, работа над монографией и ее изданием занимает достаточно много времени, так что уже в момент выхода она в определенной мере устаревает. Для ликвидации этого недостатка после изучения монографии следует провести поиск новых разработок по теме в научно-технических журналах за последние годы.

Для специалистов АПК инженерно-техническую направленность имеют ряд журналов.

Инженерно-техническое обеспечение АПК (реферативный журнал, представляющий информационный бюллетень Министерства сельского хозяйства Российской Федерации).

Тракторы и сельхозмашины. Ежемесячный научно-практический журнал. Основан в 1930 г., издается при содействии ассоциации РОСАГРОМАШ (www.rosagromach.ru).

Учредителем журнала является его редакция. Основные рубрики: рынок с.-х. техники, новые машины и оборудование; теория, конструирование, испытания, качество и надежность; агросервис; экономика, организация и технология производства; критика и библиография.

Техника в сельском хозяйстве. Научно-технический журнал, основан в 1941 г., выходит 6 раз в год. Учредители – Министерство с.-х. РФ, Российская академия с.-х. наук, коллектив редакции журнала. Основные рубрики: механизация и электрификация растениеводства; механизация, электрификация и автоматизация животноводства; электропривод, электрооборудование и электротехнологии, методики исследований и испытаний, аппаратура; краткие сообщения; информация.

Механизация и электрификация сельского хозяйства – ежемесячник, теоретический и научно-практический журнал. Учредитель – редакция журнала.

Основные рубрики: механизация растениеводства; механизация животноводства; электрификация и электротехнологии; эксплуатация машин; В НИИ, СКБ, МИС; краткие сообщения.

Сельский механизатор – научно-производственный журнал. Основан в 1958 г. Учредители – редакция журнала и изд. дом «Панорама».

Рубрики: резервы и перспективы; актуальные проблемы; техника для растениеводства; техника для животноводства; энергосбережение и энергооборудование; технология и оборудование для ремонта; диагностика и ремонт; за рубежом.

Ремонт, восстановление, модернизация – ежемесячный производственный, научно-технический и учебно-методический журнал. Учредители: ООО «Наука и технологии», редакция журнала.

Рубрики: теоретические основы реновационных технологий; практика ремонта, восстановления и модернизации; триботехника и триботехнологии; общие и научно-методические вопросы; отраслевые журналы о восстановлении и модернизации.

Инженерный журнал. Справочник с приложением, ежемесячный журнал. Учредитель: издательство «Машиностроение». Выходит при содействии Международного союза машиностроителей.

Рубрики: материалы; зарубежные аналоги; современные технологии; экология; справочник конструктора – машиностроителя; новая техника; разная информация.

Существенную группу специальной литературы составляют описания патентов на изобретение. Для классификации этого вида документов в настоящее время используются либо Международная классификация изобретений (МКИ) или (то же самое) Международная классификация патентов (МКП), либо национальные классификации.

В России патенты классифицируются по МКП (МКП – международная патентная классификация). Согласно этой классификации все патенты (изобретения) делятся, прежде всего на восемь разделов, которые обозначаются заглавными буквами латинского алфавита А, В, С, D, E, F, G, H.

Каждый раздел представляет собой очень обширную группу изобретений, например:

А – удовлетворение жизненных потребностей человека.

В – различные технические процессы.

Разделы в свою очередь делятся на классы, которые обозначаются буквенными индексами разделов и двузначным числом, например:

A01 – сельское хозяйство;

B26, E02 и т.д.

Классы делятся на подклассы, индекс которых состоит из индекса класса и согласной буквы латинского алфавита.

A01B – обработка почвы в сельском хозяйстве.

A01C – посев, посадка, удобрения.

Каждый индекс состоит из отдельных рубрик, называемых группами и подгруппами, которые в совокупности образуют дробное деление МПК.

Группы индексируются в виде дроби, в числителе которой находится обычно нечетная цифра, а в знаменателе 00, например:

3/00 – третья группа того или иного подкласса.

Номер подгруппы (обычно двузначное, четное число) вносится в знаменатель, например 3/02; 3/04 – соответственно вторая или четвертая подгруппа группы 3.

Если возникают новые понятия, по которым нужно вводить новые рубрики, то возможно появление четных групп и подгрупп, содержащих трехзначное число, например 3/103, при этом третий знак в цифре 103 понимать как дальнейшее десятичное деление группы 3/10.

При поиске описанных патентов через Интернет необходимо обратиться на сайт Роспатента http://www.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru.ru.

После выхода основной страницы сайта Роспатент можно обратиться к разделу «Промышленная собственность», «Изобретения и полезные модели» или сразу по сайту.

Существенным моментом при изучении состояния вопроса (или уровня техники в патентной литературе) является определение времени окончания этого вида работы. Дело в том, что современные базы данных настолько обширны, что их изучение может занять многие годы и более того, – направить исследователя по уже пройденным, тупиковым линиям. В истории науки известны случаи, когда незнание предмета привело к созданию новых, оригинальных достижений. Так Булева алгебра или алгебра логики была в середине 19 века создана Дж. Булем, который как инвалид не мог посещать школу. У какого ученого могло хватить смелости создать новую алгебру, зная, что она создавалась веками, что ее развитие связано с такими знаменитостями как Ф. Виет, Л. Эйлер, К. Гаусс, Э. Галуа, О. Коши и др.?

В качестве аналогичных, приводят примеры с «великим переплетчиком» М.Фарадеем, выдвинувшим неожиданную революционную идею, по которой электродинамические процессы должны объясняться явлениями, происходящими в окружающем проводник пространстве, или Б.Франклином, который, по словам Тюрго, «У неба похитил молнию, а у тиранов – скипетр». Научной работой Б.Франклин начал заниматься совершенно случайно, после того как ему пришлось присутствовать на популярной лекции с демонстрациями по электричеству. Такие лекции тогда, в начале 18 века, были распространены, так как ряд электрических явлений, как то отталкивание и притяжение наэлектризованных тел, электрическая искра, неприятные ощущения, вызываемые разрядом через человека, – были тогда новыми и служили прекрасным материалом для популярных лекций. И вот Франклин, раньше никогда не занимавшийся физикой, в небольшом городке Америки, вдали от центров мировой науки, будучи уже че-

ловеком зрелого возраста правильно понял существо электрических явлений, и за несколько лет работы возглавил развитие целой дисциплины [11].

Достаточно часто примеры аналогичных случаев находят в технике. Так, знаменитый Г.Форд в своей книге «Моя жизнь, мои достижения» писал о том, что мог бы погубить конкурентов тем, что прислал бы к ним кучу известных специалистов, которые очень хорошо знают «чего нельзя делать» и «как не надо делать». Это объясняется тем, что у специалистов достаточно часто происходит возникновение так называемого «стереотипа мышления», сдерживающего воображение, необходимое для создания нового. Очень ярким примером этого в науке является трагедия физика Пауля Эренфеста, дом которого в Лейдене сделался одним из центров мировой теоретической физики. Основным его качеством была очень высокая эрудиция и необычайно четкий критический ум. Практически все ведущие физики-теоретики, включая А.Эйнштейна и Н.Бора, ездили к П.Эренфесту чтобы изложить свои работы. П.Эренфест замечал малейшее противоречие или ошибку. Делал он это очень доброжелательно, плодотворно. Исключительно практический ум, по-видимому, сковывал его воображение, и ему самому не удавалось делать работы, которые он мог бы считать крупными. В результате сильнейшей депрессии Эренфест сам прекратил свою жизнь. Разумеется, что эти замечания о негативе высоких знаний не являются призывом к отказу от всестороннего систематического изучения предмета.

Литературные источники изучают обычно критически и до тех пор, пока не появится догадка о способе решения поставленной задачи.

4. Гипотезы, их роль в научных исследованиях

4.1. Гипотеза как основа исследования

Научная идея – это такая форма мысли, которая обычно представляет собой новое объяснение явления или пути решения поставленной задачи. Свою специфическую «материализацию», вербальное словесное выражение идеи представляет и *гипотеза*. Без гипотезы нельзя приступать к исследованиям, так как неизвестно как их вести, какие теоретические и экспериментальные средства необходимы для решения того или иного вопроса.

Гипотезы создаются для подробного решения возникающих в науке проблем. Отношение к гипотезам в научном мире и в разные времена менялось диаметрально. В эпоху Возрождения и Нового времени к гипотезам относили различные натурфилософские предположения и спекулятивные построения, когда для объяснения реальных физических и других процессов предусматривались разного рода скрытые силы, невесомые жидкости, флогистон и т.п.

Видимо это обстоятельство вынудило великого И. Ньютона публично заявить, что гипотез он не измышляет (*hypothesis non fingo*). Между тем, в своем фундаментальном труде «Математические начала натуральной философии» он фактически пользуется гипотезами в современном их понимании. Более того, он впервые использовал аксиоматический аппарат античных греков для построения теоретической механики. Этот метод сам Ньютон назвал *методом принципов*, а теперь его называют *гипотетико-дедуктивным*, так как в нем в качестве аксиом используются принципы или гипотезы, отражающие существенные свойства и отношения явлений и процессов изучаемой области действительности.

Пытался избегать гипотез в науке и П. Лаплас, о котором его ученик и биограф писал: «Наш знаменитый соотечественник никогда и ничего не предлагал неопределенного, все явления природы объяснял он строго математически; ни один физик, ни один геометр так решительно не остерегался *духа гипотез*; никто более его не боялся ученых ошибок, происходящих от воображения, не приведенного в пределы фактов, вычислений и аналогии. Один раз, только один раз, подобно Кеплеру, Декарту, Лейбницу, Бюффону, Лаплас вступил в область гипотез, относящихся к космогонии».

Прямо противоположные точки зрения высказывают Б. Паскаль, А. Эйнштейн, Э. Резерфорд, Н. Бор, М.В. Ломоносов, Д.И. Менделеев. Так, М.В. Ломоносов, говоря о гипотезах, указывал, что они представляют собой единственный путь, которым люди дошли до «открытия самых важных истин».

Д.И. Менделеев о гипотезах писал: «Они науке и особенно ее изучению необходимы. Они дают стройность и простоту, каких без их допущения достичь трудно. Вся история наук это доказывает. Поэтому смело можно сказать: лучше держаться такой гипотезы, которая может стать со временем неверною, чем никакой. Гипотезы облегчают и делают правильной научную работу – отыскания истины, как плуг земледельца облегчает вы-

ращивание полезных растений» [12]. Разница в восприятии гипотез объясняется тем, что в это понятие вкладывался различный смысл.

И. Ньютон и П. Лаплас опасались околонуточных, порой догматических измышлений. Не случайно, когда Б. Наполеон заметил Лапласу, что читает уже 5-й том его Небесной механики, но не встретил ссылок на провидение Бога, тот ответил, что в этой гипотезе он пока не нуждался.

С другой стороны, гипотеза действительно содержит желания, субъективизм того, кто создает ее, заключения гипотез имеют лишь вероятностный характер, а история знает много случаев выдвижения скороспелых гипотез, которые не имели под собой прочного фундамента, покоились исключительно на силе человеческого воображения. Более того, очень часто гипотезы принимались за действительно научные результаты.

В связи с этим гипотезы особенно необходимы именно к начальным этапам работы, и часто сравниваются либо с фонарем, освещающим направление возможного развития, либо с рыбацкой сетью. Разумеется, не каждый заброс сети дает улов, но, не забрасывая ее, вообще ничего поймать нельзя.

К.А. Тимирязев считал, что гипотеза, даже ложная, приносит свою пользу: «в случае ее опровержения остается одним возможным объяснением менее, ограничивается число остающихся объяснений, суживается круг, приближающий нас к единственному центру – к истине» [14].

Иногда исследователь строит не одну, а несколько гипотез и проверяет каждую из них. В процессе исследований он одну отбрасывает, как несоответствующую действительности, вероятность других, наоборот, возрастает, и так продолжается до тех пор, пока он не остановится на одной какой-либо гипотезе, которая наиболее вероятна и объясняет все имеющиеся факты.

4.2. Основные требования к гипотезам

При выдвижении гипотез руководствуются определенными требованиями, чтобы повысить их эффективность.

1. *Релевантность гипотезы* представляет собой предварительное условие для признания ее допустимой в науке. Термин «*релевантность*» (от английского relevant – уместный, относящийся к делу) характеризует отношение гипотезы к фактам, на которых она основывается. Если эти факты подтверждают или опровергают гипотезу, то она считается релевантной к ним. Поскольку любая гипотеза выдвигается для объяснения фактов известных и предсказания неизвестных, то и иррелевантная, безразличная к ним гипотеза не будет представлять никакого научного интереса.

Пример иррелевантной гипотезы привел Д. Финни [15].

– Итак – говорит – что скажете Вы по этому вопросу? Какова причина того, что банки и отмели закрыли вход в гавань Сэндвич? Я – старый человек, – сказал он, – и я думаю, что причина Гудвиновских песков – это Тентертоновская башня. Поскольку я человек старый, я вспоминаю, как строилась Тентертоновская башня и я помню время, когда там не было вообще никакой башни. До постройки башни не было оснований говорить о

песчаных отмелях, которые закрыли вход в гавань, а потому я думаю, что причиной разрушения и порчи гавани Сэндвич надо считать Тентертоновскую башню.

К сожалению, аналогичные доводы не так уж редки при гипотетических построениях.

2. *Проверяемость гипотезы* в прикладных, во всяком случае, науках всегда связана, в конечном итоге, с возможностью сопоставления ее следствий с результатами наблюдений или экспериментов. Речь, конечно, идет о принципиальной возможности такой проверки.

Дело в том, что немедленная проверка не всегда возможна из-за несовершенства техники, необходимой для этого. Особенно часто это случается со сложными даже для современного инструментария физическими и математическими гипотезами. Так Н.И. Лобачевский, создатель неевклидовой геометрии, стремился убедить современников что его «воображаемая» геометрия может реализоваться в окружающем пространстве. Сообщают, что К. Гаусс даже предпринял специальные измерения углов треугольника, образованных тремя горными вершинами, но не обнаружил отклонений от евклидовой геометрии. Аналогичная участь постигла гипотезу А. Эйнштейна о существовании гравитонов – частиц поля тяготения и др.

Но без экспериментальной проверки гипотезы не могут переходить в ряд истинных знаний.

3. *Совместимость гипотез с существующим научным знанием.*

4. *Объяснительная и предсказательная сила гипотез.*

Большое значение для подтверждения гипотезы имеет обнаружение новых фактов на ее основе.

Нахождение таких фактов не только увеличивает вероятность состоятельности гипотез, но при определенных условиях превращает их из гипотез в теорию. Так произошло с гипотезой о строении Солнечной системы Н. Коперника, которая в течение трехсот лет оставалась лишь в высокой степени вероятной, но все-таки гипотезой. Когда же У. Леверье на основании этой системы не только доказал, что должна быть еще одна, неизвестная до тех пор планета, но и определил с помощью вычислений место, занимаемое ею в небесном пространстве, и когда после этого И. Галле действительно нашел эту планету, система Н. Коперника была доказана.

Аналогичным примером является нахождение новых химических элементов, предсказанных периодической таблицей Д.И. Менделеева.

5. *Критерий простоты гипотез* состоит, главным образом, в том, что для ее обоснований нужно меньше исходных труднодоказуемых или априорных посылок.

С этой точки зрения геометрия Н.И. Лобачевского проще геометрии Эвклида, гелиоцентрическая гипотеза Н. Коперника проще геоцентрической К. Птолемея.

4.3. Некоторые способы разработки гипотез

Процесс генерирования новых научных идей и гипотез представляет собой самую трудную и творческую стадию научного поиска, в котором

решающую роль играют интуиция, воображение и талант ученого. Именно поэтому этот процесс не поддается алгоритмизации и точному логическому анализу. Когда же новая гипотеза будет найдена и точно сформулирована, ее дальнейшая разработка ведется с помощью рациональных теоретических и экспериментальных методов исследования.

Во всех научных школах большое внимание уделяют развитию способностей выдвижения и обоснования идей решения тех или иных задач, т.е. построения гипотез.

Считают, что история становления эвристики (от возгласа Архимеда – «Эврика», когда он нашел способ определения количества золота и серебра в знаменитой жертвенной Гиероновой короне) началась с Сократа, который ставил себе целью преподавать не готовую систему знаний, а метод, с помощью которого можно эту систему создавать.

В беседах и дискуссиях со своими учениками и собеседниками он, ставя наводящие вопросы, стимулировал пробуждение скрытых (латентных) творческих способностей людей, рождения ими продуктивных идей. Метод этот называли *майотикой* Сократа. Дословно это означает «акушерское искусство», что достаточно метко выражает его суть.

В IV веке до н.э., который называют веком Платона, научная жизнь концентрировалась вокруг него и созданной им Академии. Платон в своих знаменитых диалогах использовал при доказательствах истины обнаружения противоречий во мнениях собеседников. Часто этот метод называют *диалектическим*.

В средние века относительное развитие получила логика, которая преподавалась даже в монастырских школах. Более основательно она изучалась в появившихся в XII веке университетах. Тон этому задавал Парижский университет, который называли Новыми Афинами.

Видный логик того времени Раймонд Луллий известен как создатель первой логической машины, позволявшей свести получение простейших дедуктивных заключений к чисто механическому процессу. Эта идея вдохновила молодого Г. Лейбница создать «алфавит мыслей», который послужил толчком к замене рассуждений вычислениями, в дальнейшем способствовал возникновению математической логики, а в наше время – к исследованиям по созданию искусственного интеллекта.

Из английской Оксфордской школы вышел выдающийся представитель средневековой философии и естествознания Роджер Бэкон. Исторической заслугой являются даже не многие его изобретения, а настойчивая защита и обоснование принципа соединения опытного исследования природы с рациональным мышлением.

К сожалению, полноценным естественно научным методом исследования эксперимент мог стать лишь 2,5 столетия спустя, и связан с именами Галилео Галилея и Френсиса Бекона (1600 год). Галилео Галилей по праву считается основоположником этого метода, так как именно ему удалось впервые применить эксперимент при создании основ новой науки – механики, причем, он соединил его с математикой и ввел количественные методы измерения при обосновании и проверке своих гипотез и математических

моделей. Прежде всего, ему удалось опровергнуть широко распространенное в античной и средневековой науке представление о движении. И сделал он это просто и блестяще, используя так называемый «Мысленный эксперимент», ставший очень эффективным методом при создании гипотез и моделей.

Согласно аристотельской физике совершенным являлось круговое движение, а само движение требует постоянного воздействия силы.

На первый взгляд так и кажется: если сила перестанет действовать, то движущееся тело сразу остановится.

Галилей предложил уменьшить силу трения, и тогда тело до остановки пройдет больший путь. Если уменьшить сопротивление воздуха, то этот путь будет еще больше. Продолжая эти операции мысленно, вполне можно представить, что без воздействия внешних сил тело будет двигаться равномерно неограниченно долго. Это заключение подтвердило мнение известного механика древнего мира Герона Александрийского о том, что для приведения в движение тяжелого тела, покоящегося на гладкой горизонтальной плоскости, достаточно сколь угодно малой силы. Таким образом, трудами Герона и Галилея было сформировано понятие инерции.

В основу механики Галилей положил основные законы движения тел без учета сил сопротивления, т.е. так называемую «пустотную механику». Установив такие законы, по замыслу Галилея, следует перейти к учету поправок, учитывающих сопротивление среды.

Прежде всего, на основе ряда опытов, приведенных с большой тщательностью, он пришел к фундаментальному результату: «Если бы совсем устранить сопротивление среды, то все тела падали бы с одной скоростью».

Далее он переходит к определению законов движения при равноускоренном движении, при бросании тел в горизонтальной плоскости и под углом к горизонту, движении тел после соударений и др.

Интересен прием Галилея к изучению закономерности свободного падения тел. Прямой опыт с падением тяжелого тела вдоль отвесной линии не мог дать Галилею надежных результатов, так как не существовало достаточно точных методов измерения малых промежутков времени. Тогда он изучает процесс движения тяжелого шара на наклонной плоскости при разных углах его наклона и как переход к пределу устанавливает, что путь, проходимый телом при падении, пропорционален квадрату времени.

Помимо невозможности точных измерений существовало в то время еще одно весьма серьезное затруднение. Теоретическим языком науки в то время была логика, а логика того времени использовала в основном дедуктивный метод, т.е. умозаключения от общего к частному. Широко известное часто цитируемое логическое построение этого рода: «Все люди смертны. Я – человек. Следовательно, я смертен». В науке приходится, к сожалению, отыскивать эти общие понятия, а экспериментально возможно лишь движение от частного к общему. Современник Г. Галилея, Френсис Бэкон в Англии разработал основные правила индуктивного метода в Логике.

Выводы при индуктивном методе не столь точны, как при дедуктивном и носят вероятностный характер, а иногда есть риск ошибки. Популяр-

ным примером может быть обобщение «все лебеди – белые», оказавшееся неверным после обнаружения в Австралии черных лебедей. Тем не менее, индуктивный метод раскрывал широкую дорогу экспериментальным приемам исследований, т.к. в естествознании чаще необходимо от частных наблюдений и измерений переходить к возможным обобщениям.

На высокое значение логики и в современной науке обращают внимание многие авторитеты [3]. Лорд Элтон, например, отмечает, что «нет ничего более необходимого для человека науки, чем ее история».

Очень распространенным способом становления гипотез являются аналогии. Обнаружив сходство изучаемого явления с теми, которые ранее были исследованы, закономерности которых установлены, ученый делает предположение о том, что в данном случае может существовать такой же тип закономерной связи. Основой такого предположения может быть закономерный характер развития материального мира, его материальное единство.

Полнота аналогии может зависеть от физических, технологических и других сходств, математического аппарата их описания, и, что немаловажно, – от накопленного багажа знаний. В качестве примера можно привести определение тягового сопротивления в работе плуга, выполненное в свое время основателем земледельческой механики В.П. Горячкиным. В качестве аналога он выбрал резец, работа которого была уже неплохо изучена в технологии обработки металлов. Казалось бы, аналогия полная, резец снимает стружку с заготовки, а плуг – с поверхности почвы.

В то время сопротивление резанию металлов описывали формулой

$$P = A \cdot a^\alpha b^\beta, \quad (4.1)$$

где a и b – параметры стружки (толщина и подача);

A , α , β – коэффициенты, зависящие от материала заготовки, способов резания, режимов и т.п.

После проведения эксперимента обнаружилось, что опытные данные плохо описываются этим уравнением. Иначе говоря, гипотеза оказалась неверной. Но тогда возник вопрос «Почему?», в чем разница этих процессов?

Первое, что отметил Горячкин, это то, что плуг необходимо передвигать по полю, и, следовательно, затрачивать на это часть усилия в то время как резец стоит на месте. Он обозначил эту составляющую как P_1 .

Второе. Вспашка подразумевает крошение пласта. Крошить стружку в такой мере не нужно. Составляющую тягового сопротивления, расходуемую на крошение пласта, он обозначил как P_2 .

И, наконец, третье. Тяжелый пласт почвы при вспашке отбрасывается корпусами плуга в сторону, а для этого тоже нужно усилие (P_3).

В итоге появился известный трехчлен:

$$P = P_1 + P_2 + P_3. \quad (4.2)$$

После значительной идеализации физических процессов, используя закономерности физики, сопротивления материалов, механики, В.П. Горячкин получил формулу:

$$P = f \cdot G + k \cdot ab + \varepsilon \cdot abV^2, \quad (4.3)$$

где a и b – параметры пласта;

V – скорость движения плуга по полю;

G – вес плуга;

f, k, ε – коэффициенты, зависящие от свойств и состояния почвы.

Заметим, что первая гипотеза оказалась несостоятельной. Чаще всего так и бывает. Ч. Дарвин в свое время отмечал, что за исключением теории образования коралловых рифов он не может вспомнить ни одной первоначально составленной гипотезы, которая не была бы через некоторое время отвергнута или сильно изменена, причем переход от неудачной гипотезы к полезной обычно и составляет творческую часть работы.

Ранее уже была отмечена роль наставника в развитии творческой способности учеников еще в античные времена. Такого вида работа ведется и в современных научных школах. П.Л. Капица в своих воспоминаниях о Э. Резерфорде [11] приводит примеры этого.

В начале прошлого века научная общественность была взволнована падением Тунгусского метеорита. Так, даже за чаепитием Э. Резерфорд предлагал, например, ученикам найти способ определения ущерба, который мог нанести этот метеорит, если бы он упал в определенной части Лондона.

И еще очень характерный для Э. Резерфорда поступок. Как-то в начале работы в Кембридже Капица сказал Резерфорду: «У нас работает Х, он работает над безнадежной идеей и напрасно тратит время, приборы и прочее». «Я знаю, - ответил Резерфорд, - что он работает над безнадежной проблемой, но зато эта проблема его собственная, а если работа у него не выйдет, то она научит его самостоятельно мыслить и приведет к другой проблеме, которая уже будет иметь экспериментальное решение».

П.Л. Капица замечает, что так потом и оказалось.

Так работал Учитель, 14 учеников которого стали лауреатами Нобелевской премии.

При работе в физико-техническом институте П.Л. Капица и сам очень заботился о развитии творческих способностей юношества [11]. Студенты любили его задачи. В продолжении нескольких лет они их собирали и издали в виде брошюры. Часть задач опубликована в работе [12].

5. Проверка гипотез, модели, теоретическое исследование

5.1. Модель как метод познания исследуемых объектов

После принятия той или иной гипотезы, прежде всего, необходима ее проверка, с точки зрения совместимости с законами механики, количественной оценки физико-математическими методами.

Явления, протекающие в технологических процессах при воздействии рабочих органов на обрабатываемый материал, обычно сложны и изменчивы настолько, что их изучение нельзя начинать с того, как они представляются нам при живом созерцании путем непосредственного наблюдения. Чтобы преодолеть эту трудность, наука стремится сначала упростить, схематизировать явления или процессы реального мира. Даже в развитых опытных науках стараются изучить процессы в «чистом виде» (опыты Г. Галилея), по возможности изолируясь от воздействия других явлений и событий. Идеализированные объекты могут быть уже изучены аналитическими методами и прежде всего математическими.

О роли математики в науке Н.И. Лобачевский, например, писал: «Подобно тому, как дар слова обогащает нас мнением других, так язык математических знаков служит средством еще более совершенным, более точным и ясным, чтобы один передавал другому понятия, которые он приобрел, истину, которую он постигнул и зависимость между частями, которую он открыл».

Все здесь правильно, может быть только за исключением *ясности*.

Вспоминается случай с известным физиком Э.Ферми, который вынужден был бежать из Италии от преследования итальянских националистов в США. В письме своему брату он писал, что благополучно добрался до Америки и уже побывал на теоретическом семинаре Р. Оппенгеймера. «К большому сожалению, – отмечал он, – я ничего из доклада не понял. Утешила меня только заключительная фраза лектора о том, что в этом состоит суть фермиевской теории бета-распада» [16].

Уж если для ученых такого ранга как Э.Ферми современный математический аппарат представляет сложность, то, что говорить об обычной инженерной практике.

Некоторые надежды преодоления таких затруднений связываются с возможностями использования ЭВМ, поскольку современному компьютеру подвластно решение очень сложных математических задач.

Но компьютер работает лишь при определенной программе, а составление ее бывает ничуть не проще решения самой задачи.

Практика программирования очень многих задач, особенно связанных с прикладными науками, показала, что, несмотря на большое разнообразие *содержательных сторон* многих из них, методы решения часто оказываются схожими и даже повторяющимися. Это связано с тем, что, во-первых, математика давно абстрагировалась от конкретных форм (все равно, идет ли речь об 1, 2, 3 орехах или 1, 2, 3 – палках), а во-вторых, развитие всей науки основывается на весьма немногочисленных общих законах,

таких, например, как закон сохранения энергии, закон сохранения вещества и т.д.

Очень часто случается, что задачи, различающиеся между собой по существу, приводят к уравнениям, совершенно одинаковым по виду. Аналитическая форма уравнения оказывается одинаковой для двух и более вопросов, хотя буквы, входящие в уравнение, означают совершенно разные объекты. Такое формальное сходство позволяет применять одинаковые математические приемы решения уравнений, в том числе и ранее известные. Таким образом, один вопрос может служить, как сейчас принято говорить, *моделью* или образцом для некоторых других, т.е. мы можем прямо использовать готовый метод решения (алгоритм, программу), находя совершенно излишним вновь повторять все прежние выкладки и выводы. Дальнейшее развитие метода аналогий приводит к применению моделирования и широкому использованию современных возможностей ЭВМ.

Слова «модель» и «математическая модель» все более входят в жизнь современного общества. Без них совершенно невозможно использование компьютера (может быть за исключением некоторых игрушек, офисных программ и работы на ЭВМ, как на пишущей машинке).

Более того, даже в самых строгих областях науки понятие *закона* (ряд законов природы, физические законы и др.) заменяется на более широкое, хотя и очень расплывчатое понятие *модели*. Дело в том, что до недавнего еще времени наука имела дело с довольно простыми системами, например, с парой материальных точек в ньютоновской механике можно было создавать теории, верные всегда. Таковы законы Ньютона, Ома или Кирхгофа. Подобные законы носят характер некоторой абсолютной категории: закон может быть либо верен, либо ошибочен. И, конечно, он нужен для предсказания поведения тех величин (сил, токов, траекторий движения), взаимодействия между которыми трактует закон. Впрочем, впоследствии выяснилось: ньютоновская механика, законы Ома или Кирхгофа применимы не всегда, и были указаны границы их применения. Поэтому следует понимать, что абсолютность законов относится к данному уровню знаний, а на более высоком закон может быть пересмотрен, т.е. до определенного времени он отражал свойства природы как и некоторая *модель*.

Модель – это весьма многозначное понятие. В настоящее время находят более 30 синонимов, или характеристик «*модели*».

С точки зрения словообразования, в английском языке слово «модель» означает «модельный бизнес», «модель» и «подиум» и т.д. Считают, что в математику понятие модели было введено Ф. Клейном (70 годы XIX века), а затем Б. Расселом. (Работа Ф. Клейна, известная как *Клейне интерпретация*, представляет собой *модель*, реализующую систему аксиом геометрии Н.И. Лобачевского – 1871 г.).

Работы Рассела (B. Russel, 1902) связаны с так называемой *Антиномией Рассела*, касающейся свойств множеств.

Одно из применений этого понятия в математике состоит в доказательстве внутренней непротиворечивости теории путем нахождения реально существующей модели – ибо то, что существует, не может быть внут-

ренне противоречиво. В математике модель оказывается, таким образом, конкретнее, чем то, что моделируется. (Может быть, пример – логнормальное распределение – как результат непрерывного или, во всяком случае, длительного измельчения (разрушения) у А.Н. Колмогорова).

Смысл, вкладываемый в понятие «модель» в современных прикладных науках, прямо противоположен этому, он подчеркивает, с какой точки зрения и насколько глубоко изучается тот или иной объект.

Детский рисунок: домик с трубой и дымом, круглое солнце с лучами, елочки – модель окружающего мира, где ухвачены главные черты восприятия ребенка.

Художник – реалист или импрессионист – напишет этот же пейзаж по-другому, в зависимости от своей философской позиции. Он может подчеркнуть иные его стороны, выразит в картине свое настроение или мировоззрение.

Но и ортодоксальный натуралист не сможет полностью, с абсолютной точностью воспроизвести натуру: даже если бы можно было воспроизвести все, что видит художник, то еще остается движение, звуки, запахи, т.е. жизнь во всем ее многообразии.

Из этого следует, что модель проще моделируемого объекта. Впрочем, и это не бесспорно, например, моделью у скульптора является натурщик. Едва ли статуя девушки, например, сложнее самой девушки.

Чертеж машины или схема радиоприемника – тоже модель, причем при конструировании часто создают ряд чертежей. Например, разрабатывают сначала блок-схему, затем принципиальную схему, а затем – монтажную схему.

Все они моделируют будущий приемник не только с различной степенью детализации, но и отражают разные его стороны.

Блок-схема, например, может включать узлы определенного функционального назначения (колебательный контур, усилитель высокой частоты, детектор, усилитель низкой частоты, блок питания и т.д.). Аналогом такого чертежа в механике может быть общее устройство машины (двигатель, трансмиссия, движитель и т.д.).

Другие чертежи конкретизируют устройство узлов, а окончательный, сборочный чертеж представит взаимное расположение всех узлов и деталей и требования к сборке. Все чертежи – это модели того или иного устройства, но характеризуют его с различных сторон и в различной степени. Одна и та же задача может быть решена с использованием различных моделей.

Например, определяется прирост населения в городе. На первом этапе считают ее пропорциональной числу жителей. Такая математическая модель – линейное уравнение – верна лишь в довольно грубом первом приближении. Если же учесть количество детей, стариков, незамужних женщин и неженатых мужчин, то модель прироста усложняется. А если включить в модель такие факторы, как уровень образования, количество работающих женщин, уровень благосостояния, жилищные условия и т.д., то математическая модель будет уже достаточно сложной, построить и изучить ее совсем не просто.

Однако и в этом случае модель может оказаться не очень близкой к действительности: здесь не учтено множество случайных факторов – миграция населения, статистика браков и разводов, уровень социальной защиты, эффективность медицинского обслуживания, экологические условия и пр.

Один и тот же человек, допустим, может представляться для окружающих различными моделями, если их строят, к примеру – родители, школьные учителя, друзья и недруги, судьи на уголовном процессе, социальные работники, медики и т.д. И список научных трудов, и трудовая книжка, и медицинская карта – все это разные стороны, т.е. по большому счету, разные модели одного объекта – человека.

Понятие модели отличается и от хорошо и давно известного в науке понятия *гипотезы*. Наука допускает существование нескольких гипотез, поскольку одни и те же наблюдаемые явления могут одинаково хорошо подтверждать различные гипотезы. Но наличие нескольких гипотез всегда рассматривается как некое временное явление – предполагается, что рано или поздно из конкурирующих гипотез удастся выделить одну, представить ее в математической форме, оценив количественно входящие в нее константы, и она приобретет уже статус закона.

Математические же модели не всегда нужно считать конкурирующими друг с другом, поскольку объект исследования они характеризуют с разных точек зрения.

Раньше считалось, что язык математики строго однозначен (дважды два = четыре), и этим он отличается от многозначного – полиформного – естественного языка людей.

Снижение требований, предъявляемых к математическому описанию, замена закона моделью привели к тому, что математический язык, однозначный по своей природе, стал применяться как многозначный. Начала стираться четкая грань, которая ранее существовала между математическим и вербальным описанием явлений.

Еще и сейчас ведутся споры о возможности математического описания сложных, неорганизованных систем, таких, например, как социальные системы. В большинстве случаев эти споры основаны на недоразумении. Те, что утверждают, что нельзя, – имеют в виду математическое описание в старом, традиционном смысле. Те же, кто утверждает – можно, исходят из совсем иных методологических концепций, понимая под математическим описанием не установление законов, а создание моделей с резко ослабленными требованиями.

Остро и интересно высказывание о моделировании профессора В.В. Налимова, одного из ведущих ученых нашей страны, который еще в 60-х годах прошлого столетия возглавил группу ученых МГУ и ряда других научных учреждений страны, разрабатывающих математические методы планирования многофакторных экстремальных экспериментов.

«Часто совсем иной смысл вкладываем мы сейчас в термин *математическое моделирование*, понимая под этим некоторое упрощение и весьма приближенное математическое описание сложной системы. Слово *модель* в

этом случае противопоставляется закону науки, относительно которого предполагается, что он описывает явление природы некоторым *безусловным образом*».

Одна и та же сложная система может описываться разными моделями, каждая из которых отражает только какую-то сторону изучаемой системы. Это, если угодно, взгляд на сложную систему в некотором определенном и заведомо узком ракурсе. В этом случае, естественно, не возникает задача дискриминации – различные модели могут иметь право на одновременное существование. Модель в этом понимании ведет себя в каком-то смысле так же, как описываемая ею система, а в каком-то другом – иначе, ибо модель не идентична описываемой системе. Пользуясь лингвистической терминологией, мы должны были бы сказать, что математическая модель есть просто «метафора».

Зачем же строят метафоры для очень сложных систем в технике, биологии, социологии, педагогике, психологии, тем более что построение таких моделей даром не дается: придется преодолевать трудности, подчас весьма значительные, научного, психологического и организационного характера?

Оказывается, на сегодня основной, если не единственный метод познания, – это построение моделей, но не каких попало, а содержательных, дающих возможность выпукло увидеть какие-то интересные, значительные или нужные исследователю стороны изучаемого явления, объекта, процесса, погрузив в тень другие стороны. С иных позиций они могут оказаться более важными, и тогда нужно строить другую модель.

Процесс построения модели называется *моделированием*. Существует несколько приемов моделирования и способов их классификации.

Прежде всего, модели разделяют на материальные и идеальные.

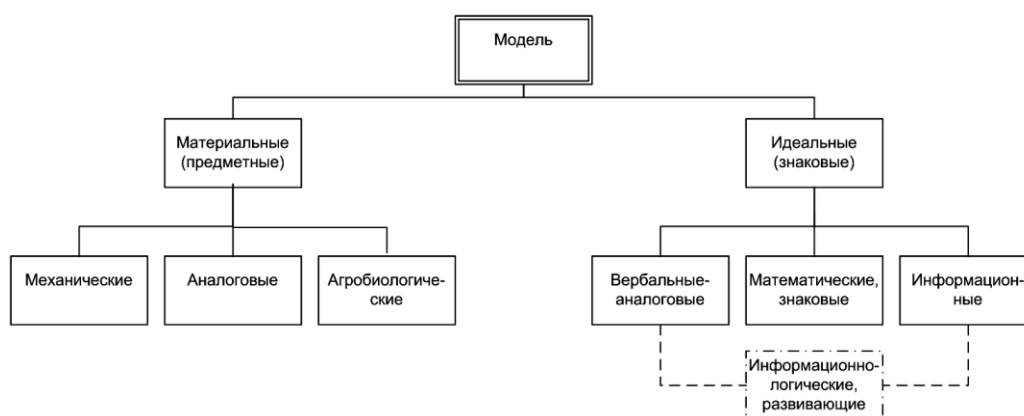


Рис. 5.1. Классификация моделей

Обычно моделирование разбивают на две большие группы: материальное (предметное, физическое) и идеальное (знаковое, математическое, кибернетическое, информационное).

Моделирование называют *предметным*, если исследование ведется на модели, воспроизводящей основные геометрические, физические, динамические и функциональные свойства «оригинала» (но не обязательно все).

Если модель и моделируемый объект имеют одну и ту же физическую природу, то говорят о *физическом* моделировании.

Примерами могут быть:

- модели рабочих органов сельскохозяйственных машин;
- почвенная деланка – как модель поля;
- планетарий в астрономии;
- бассейны и водоемы – при исследовании моделей кораблей;
- исследование моделей самолетов в аэродинамической трубе.

Работам, связанным с обоснованием методов физического моделирования, посвящены исследования таких замечательных ученых, как Г. Галилей, И. Ньютон, Ж. Фурье, Бертран, Фруд, Л. Эйлер, И.И. Артоболевский, Рейнольдс, В.И. Кирпичев, Н.Е. Жуковский, А.Н. Крылов и др.

Г. Галилей уже ставил вопрос о том, почему модель в миниатюре действует в совершенстве, тогда как построенная вслед за этим машина в натуре не дает ожидаемых результатов? Теорема о механическом подобии впервые сформулирована И.Ньютоном в 1636 г. в книге «Математические начала натуральной философии».

В результате многолетних и многочисленных работ установлено, что при исследовании механических (к примеру) моделей, помимо геометрической пропорциональности необходимо обеспечить кинематическое, динамическое подобие и подобие обрабатываемых сред.

На кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА проф. В.С. Кировым был выполнен целый ряд работ с использованием механического моделирования [19]. Это исследования моделей рабочих органов почвообрабатывающих машин в лабораторном почвенном канале (плугов, дисковых орудий, фрез), машин для внесения удобрений (минеральных и органических), вентиляторов.

Разновидностью предметного моделирования является *аналоговое*.

Аналоговое моделирование основано на схожести процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но описываемых одинаковыми математическими уравнениями, логическими схемами и т.п. До создания цифровых электронных вычислительных машин в конце 1940-х гг., аналоговое моделирование было основным способом предметно-математического моделирования многих процессов. АВМ включала в себя блоки, способные осуществлять многие математические операции (суммирование, дифференцирование, интегрирование и др.).

Оператор, на основе математических уравнений, строит блок-схему, интерпретирующую тот или иной технологический процесс, затем он на наборном поле машины с помощью коммутирующих проводов соединяет блоки в нужной последовательности, масштабирует схему, а затем изучает поведение выходного сигнала в зависимости от входного. В качестве входного воздействия могут быть токи той или иной частоты и амплитуды, импульсные токи, случайные процессы и др.

При изучении курса «Сельскохозяйственные машины» аналоговые машины МН-7, МН-10 и аналого-цифровая гибридная машина «Экстрема» применялись для исследования технологических процессов распределения

удобрений, просеивания мелкого вороха на соломотрясе, решетках зерноочистительных машин и др. Необходимо заметить, что и механические, и аналоговые модели являлись материальным отражением исходного объекта и были связаны с ним своими геометрическими, физическими и другими характеристиками, причем процесс исследования был связан с материальным воздействием на модель, т.е. состоял в натурном эксперименте с ней. Таким образом, предметное моделирование по своей природе является экспериментальным методом.

От предметного моделирования принципиально отличается *идеальное*, которое основано не на материальной, а на аналогии идеальной, мыслимой. Идеальная модель может быть представлена *вербально*, т.е. в виде обычного словесного изложения. Чаще всего это начальный этап моделирования, в котором определяют факторы, связи между параметрами процесса, целевую функцию, намечают логические операции, которые могут обеспечить решение.

Вербальная модель в последующем должна быть формализована и в виде математических соотношений введена в *математическую модель*. Иными словами, математическая модель представляет собой систему математических соотношений – формул, функций, уравнений, систем уравнений, описывающих те или иные стороны изучаемого объекта, явления, процесса.

Математическое моделирование является наиболее универсальным видом моделирования. Оно позволяет осуществить с помощью ЭВМ решения целого класса задач, имеющих одинаковое математическое описание; обеспечивает простоту перехода от одной задачи к другой, введение переменных параметров, начальных условий, входных воздействий; дает возможность моделировать по частям (по «элементарным процессам»). Такое моделирование экономичнее физического как по затратам времени, так и стоимости.

Ранее уже шла речь о возможности разработки моделей для сложных, многофакторных и, как говорят, *плохо-организованных* систем. Современные средства математики еще не позволяют построить для них *дискриптивные* (т.е. описательные) модели. Представляется, что пока невозможно математически (т.е. количественно и качественно) описать взаимодействия всех деталей очень сложной машины, не говоря уже о таких объектах, как человеческий мозг, растение, социальная среда и т.п. В этих условиях достаточно часто используется так называемые *информационные модели*. Внутренняя структура исследуемого объекта в этом случае совсем не рассматривается, а его представляют в виде «Черного ящика».

Работу такого объекта представляют в виде преобразования входного воздействия $x(t)$ в выходное $y(t)$ (реакцию объекта, системы на входное возмущение).

Иначе говоря, система A осуществляет над входным воздействием некоторое *преобразование*, в результате которого функция $x(t)$ преобразуется в другую функцию $y(t)$. Символическая запись такого преобразования выглядит так:

$$y(t) = A\{x(t)\}.$$

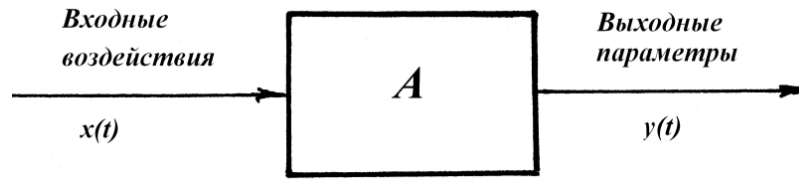


Рис. 5.2. Схема информационной модели

Преобразование A может быть любого вида и любой сложности. В наиболее простых случаях, например, умножение на заданный множитель (усилитель, передаточные механизмы), дифференцирование, интегрирование и т.д.

Правило A , по которому функция $x(t)$ преобразуется в $y(t)$, называют *оператором*. Если оператор A определяют по соотношению $x(t)$ и $y(t)$, то по сути дела и находят *информационную модель*.

В настоящее время основную часть моделей составляют *математические*. Классификация этих моделей весьма затруднительна, поскольку существует множество *оснований классификации*, например:

- форма представления моделей;
- способ получения моделей;
- назначение моделей;
- способ прогнозирования результатов;
- характер отображаемых свойств;
- степень абстрагирования и т.д.

Одна из возможных классификаций математических моделей изображена на рис. 5.3, представляющая собой модифицированную схему, используемую при исследованиях технических систем [17].

В этой схеме по *форме представления* различают инвариантные, алгоритмические, аналитические и графические модели.

Инвариантные модели обычно бывают в виде систем алгебраических или дифференциальных уравнений.

Алгоритмические модели записываются в виде алгоритма – последовательности вычислений. Сюда же относятся алгоритмы программ для ЭВМ.

Аналитические модели – это те, для которых найдены явные зависимости искомых переменных от заданных величин. Такие модели получают на основе физических законов, либо в результате прямого интегрирования исходных дифференциальных уравнений. К ним относятся регрессионные модели, получаемые на основе результатов эксперимента.

Графические модели бывают представлены в виде эквивалентных схем, диаграмм, циклограмм, графов и т.п.

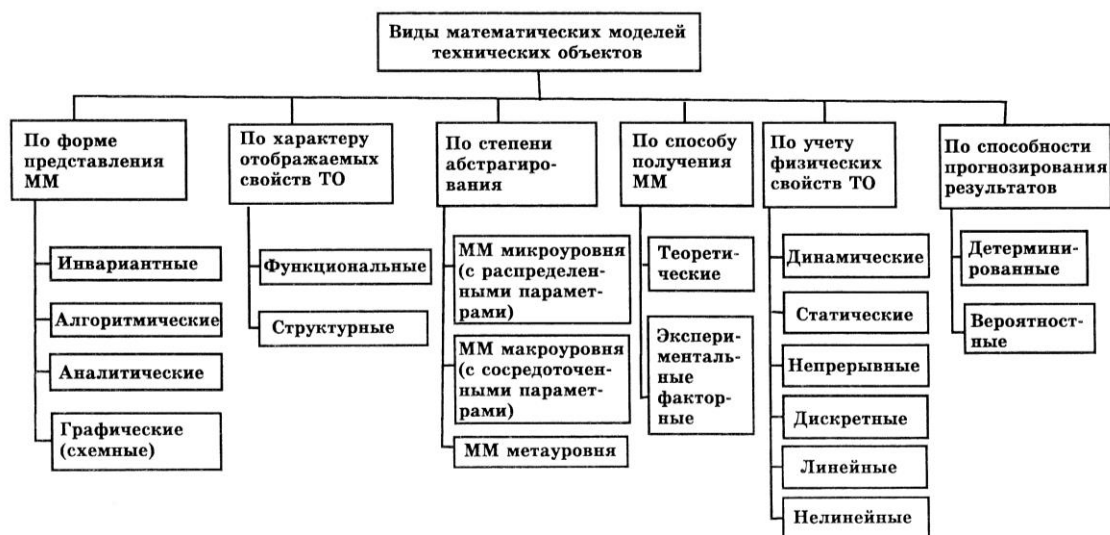


Рис. 5.3. Классификация математических моделей

По характеру отражаемых свойств объектов модели разделяют на структурные и функциональные.

Структурные модели, которые отображают связи между основными структурными единицами (элементами) системы. Их обычно представляют в форме таблиц, матриц. Элементы структурных моделей отличаются функциональными или конструктивными признаками.

Функциональные модели, это те которые описывают процессы функционирования исследуемых объектов и имеют форму систем уравнений. Эти модели могут быть построены на основе законов физики, химии, биологии, механики или быть формальными – экспериментальными. Экспериментальные модели не учитывают всего комплекса физических свойств элементов системы, а лишь устанавливают обнаруженную в процессе эксперимента связь между отдельными параметрами объекта.

По степени абстрагирования различают модели на микро-, мета- и макроуровне.

Модели на метауровне. Метауровень соответствует начальным стадиям исследования или проектирования, на котором осуществляется научно-технический поиск и ведется разработка технического предложения. Для построения математических моделей метауровня используют методы морфологического анализа и синтеза, математической логики, теории автоматического управления, теории массового обслуживания, теории игр, теории графов, теории информации;

Модели на макроуровне описывают динамические системы с сосредоточенными параметрами. Обычно это системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Эти модели используют для определения параметров технического объекта и его функциональных элементов.

Модели на микроуровне. Объект представляется как сплошная среда с распределенными параметрами.

На микроуровне проектируют неделимые по функциональному признаку элементы технической системы, называемые *базовыми элементами*.

Примерами таких элементов являются рамы, панели, отдельные детали. Их проектирование основано на анализе сложнапряженного состояния деформированных элементов. Методы механики сплошной фрезы широко используются в гидравлике и аэродинамике, когда изучается сложное движение элементов среды, с учетом непрерывно изменяющихся полей сил, напряжений, скоростей, завихрений и т.п.

Модели на клеточном и молекулярном уровне используют в биологии, химии для описания соответствующих взаимодействий.

По способу получения моделей их разделяют:

- на *теоретические*, построенные исключительно математическими методами;

- *экспериментальные*, в том числе полученные использованием методов многофакторного эксперимента, закончившегося составлением уравнений регрессии;

- на использующие методы *вычислительного эксперимента*. («Эксперимент с моделью»). Вычислительным экспериментом называется методология и технология исследований, основанная на применении *прикладной математики и компьютеров* как технической базы использования математических моделей.

Возможности современных ЭВМ позволяют проанализировать математические модели в широком диапазоне изменений факторов и представить их в виде цифровых рядов, позволяющих количественно оценить их значимость. Вычислительный эксперимент незаменим при исследовании глобальных климатических систем, когда постановка эксперимента невозможна; при исследовании ранимых объектов, которые в результате широкого диапазона изменения факторов можно привести к катастрофическим, необратимым результатам.

В учебном процессе исследование моделей вместо реальных объектов позволяет значительно расширить представление о процессе за весьма ограниченное учебное время. Практически все программы кафедры СХМ Пермской ГСХА, предназначенные для анализа технологических процессов, осуществляемых сельскохозяйственными машинами, используют метод вычислительного эксперимента;

- на *имитационные модели*, которые часто разрабатывают для создания последовательности случайных величин или случайных функций с определенными законами распределения или характеристиками. Эти законы и характеристики обычно соответствуют тем, которые имеют внешние возмущения при реальной эксплуатации машин. Имитационные модели часто используют в командных устройствах, воспроизводящих параметры реальных воздействий в лабораторных условиях. Имитационные модели могут сочетаться с методами вычислительного эксперимента, если некоторые параметры процесса являются случайными (например, физико-механические свойства обрабатываемого материала, распределения семян, растений и др.).

По учету физических свойств объектов существуют модели:

- динамические (т.е. зависящие от времени);

- статические (независимые от времени);
- непрерывные;
- дискретные;
- линейные (описываемые линейными дифференциальными уравнениями).

По способу прогнозирования результатов различают модели:

- детерминированные (неслучайные);
- вероятностные (стохастические).

По назначению модели разделяют:

- на *дискриптивные* (описательные), разработанные для исследования структуры того или иного объекта;
- *кибернетические* (управляющие), разработанные для исследования управляющих воздействий и обоснования их рациональных параметров;
- *оптимизационные* – создаваемые для оптимизации технологических процессов.

5.2. Физическое моделирование. Основные понятия

Первой ассоциацией понятия модели обычно оказываются уменьшенные копии машины или сооружения. Желание провести исследование на этих уменьшенных вариантах вполне естественно, так как изготовление таких моделей значительно дешевле оригиналов, и для их исследования не нужны большие экспериментальные сооружения, мощные приводные установки и т.д. и т.п.

Попытки испытаний на моделях проводились еще в античные времена, но тогда же было обнаружено, что полномасштабные образцы машин и сооружений ведут себя иначе. Исторические корни осознания причин такого несоответствия и разработка методов научного моделирования восходят к работам Леонардо да Винчи, Г. Галилея, И. Ньютона, И. Кулибина, Ж. Фурье, О. Коши, Л. Эйлера и др.

Значительный вклад в теорию подобия и моделирования внесли наши соотечественники – академики В.Л. Кирпичев, Л.И. Седов, А.Н. Крылов, В.П. Горячкин, Н.Д. Лучинский.

Теория моделирования решает такие задачи, как обоснование требований к модели, воспроизводящей работу оригинала и правила переноса результатов исследований на модели – на оригинал.

Широкое применение моделирование находит в учебной практике.

Модели могут использовать для демонстрации физических законов, технологических процессов, действия новых разработок, установок и т.п.

Моделирование может быть *полным* (когда обеспечивается подобие движения материи в основных формах ее существования, т.е. в пространстве и времени), *неполным* (когда подобие устанавливается между некоторыми функциями или обобщенными характеристиками) и *приближенным* (когда некоторые параметры, не оказывающие решающего действия на протекание процесса, моделируются приближенно или совсем не моделируются). Разумеется, что в этом случае возникает необходимость в оценке возможной погрешности.

5.2.1. Критерии подобия

Одним из основных понятий в физическом моделировании является *подобие*.

Подобие явлений означает, что данные о протекании процессов, полученные при изучении одного из них, можно перенести на все *подобные* данному, путем пересчета характеристик с помощью критериев подобия.

Теорема о механическом подобии впервые сформулирована И. Ньютоном в 1636 г. в книге «Математические начала натуральной философии».

На основании теоремы подобия он вывел закон сопротивления жидкости движущемуся в ней твердому телу. Закон подобия И. Ньютона предопределяет *механическое* подобие систем, включающее в себя *геометрическое, кинематическое и динамическое* подобия.

Под геометрическим подобием понимается пропорциональность линейных размеров и равенство угловых параметров. Линейный масштаб K_ℓ

можно найти как $K_\ell = \frac{\ell_M}{\ell_H}$,

где ℓ_M – линейные размеры модели;

ℓ_H – линейные размеры натуры.

Под кинематическим подобием понимают изменяющиеся во времени системы, совершающие геометрические подобные *перемещения* в промежутки времени, находящиеся в постоянном соотношении:

$$K_t = \frac{t_M}{t_H} = \frac{t'_M}{t'_H},$$

где t_M, t_H, t'_M, t'_H – время прохождения частицей (телом) отрезков $\ell_M, \ell_H, \ell'_M, \ell'_H$, причем $\ell_M / \ell_H = \ell'_M / \ell'_H = K_\ell$.

В кинематически подобных системах отношения скоростей и ускорений в соответствующие моменты времени постоянны, т.е.

$$K_v = \frac{V_M}{V_H} = idem; K_a = \frac{a_M}{a_H} = idem.$$

При *динамическом подобии* соотношения между соответствующими силами, действующими в обеих геометрически подобных системах, должны быть одинаковыми:

$$K_p = \frac{P_M}{P_H} = \frac{m_M a_M}{m_H a_H} = idem.$$

Частные критерии динамического подобия удобно представлены в виде таблицы С.Дж. Клайна [18].

Кроме критериев, указанных в табл. 5.1, при моделировании используются и другие критерии, например, В. Струхалья, Кармане, Ж. Фурье, Био, Дамкелера и др., характеризующие кинематическое или динамическое подобие [18].

Таблица 5.1

Критерии подобия для сил различной физической природы

Виды сил	К р и т е р и и п о д о б и я д л я :				
	Силы тяжести $F_g = \rho \cdot l^3 \cdot g$	Силы упругости $F_E = E \cdot l^2$	Силы поверхностного натяжения $F_\sigma = \sigma \cdot l$	Силы давления $F_P = P \cdot l^2$	Силы вязкости $F_\mu = \mu \cdot U \cdot l$
Сила инерции $F_i = \rho \cdot U^2 \cdot l^2$	Число Фруда: $Fr = \frac{F_i}{F_g} = \frac{U^2}{g \cdot l}$	Число Коши: $Ca = \frac{F_i}{F_E} = \frac{\rho \cdot U^2}{E}$	Число Вебера: $We = \frac{F_i}{F_\sigma} = \frac{\rho \cdot U^2 \cdot l}{\sigma}$	Число Эйлера: $Eu = \frac{F_P}{F_g} = \frac{l \cdot g}{U^2}$	Число Рейнольдса: $Re = \frac{F_i}{F_\mu} = \frac{\rho \cdot U \cdot l}{\mu}$
Сила вязкости $F_\mu = \mu \cdot U \cdot l$	Число Мошени: $Mo = \frac{F_g}{F_\mu} = \frac{\rho \cdot l^2 \cdot g}{\mu \cdot U}$	$\frac{F_E}{F_\mu} = \frac{E \cdot l}{\mu \cdot U}$	$\frac{F_\sigma}{F_\mu} = \frac{\sigma}{\mu \cdot U}$	Число Стокса: $St = \frac{F_P}{F_\mu} = \frac{\Delta P \cdot l}{\mu \cdot U}$	
Сила давления $F_P = P \cdot l^2$	$\frac{F_g}{F_P} = \frac{\rho \cdot l \cdot g}{\Delta P}$	$\frac{F_E}{F_P} = \frac{E}{\Delta P}$	$\frac{F_\sigma}{F_P} = \frac{\sigma}{\Delta P \cdot l}$		
Сила поверхностного натяжения $F_\sigma = \sigma \cdot l$	$\frac{F_g}{F_\sigma} = \frac{\rho \cdot l^2 \cdot g}{\sigma}$	$\frac{F_E}{F_\sigma} = \frac{E \cdot l}{\sigma}$			
Сила упругости $F_E = E \cdot l^2$	$\frac{F_g}{F_E} = \frac{\rho \cdot l \cdot g}{E}$				

При наличии динамического подобия очень легко устанавливается связь между всеми кинематическими и динамическими характеристиками систем.

В качестве примера использования критериев подобия можно представить лабораторный почвенный канал кафедры «Сельскохозяйственные машины» Пермской ГСХА (рис. 5.4), в котором изучается процесс взаимодействия моделей рабочих органов плугов с обрабатываемой средой.

Для этой цели изготовлены модели лемешно-отвальной поверхности культурного, полувинтового и винтового вида и дискового плуга в масштабе $K_\ell = \frac{\ell_M}{\ell_H} = 0,2$.

Для определения коэффициента кинематического подобия $K_t = \frac{t_M}{t_H}$ необходимо определить время подъема частиц почвы, отбрасываемых отвалом.

Высота подъема частиц составляет $H = \frac{gt^2}{2}$, а время подъема их для модели и натуре - $t_M = \sqrt{\frac{2H_M}{g}}$, $t_H = \sqrt{\frac{2H_H}{g}}$, отсюда $K_t = \sqrt{\frac{H_M}{H_H}} = \sqrt{K_\ell}$.



Рис. 5.4. Лабораторный почвенный канал

Рабочие органы натуре и модели, будучи геометрически подобными и обладая одной и той же материальной структурой, имеют массы, пропорциональные объемам, - $m_M = C\gamma_M l_M^3$; $m_H = C\gamma_H l_H^3$.

Тогда соотношение между массами модели и натуре составит:

$$K_m = \frac{m_M}{m_H} = \frac{C\gamma_M l_M^3}{C\gamma_H l_H^3} = \frac{l_M^3}{l_H^3} = K_l^3.$$

Выбор обрабатываемого материала при моделировании технологического процесса так же важен, как и определение коэффициентов подобия

геометрических и кинематических параметров машины. Условия подобия обрабатываемого материала можно записать в виде

$$\varphi_m = \varphi_n; f_m = f_n;$$

$$\left(\frac{d}{l}\right)_m = \left(\frac{d}{l}\right)_n,$$

где φ – коэффициент внутреннего трения;

f – коэффициент внешнего трения;

d – линейный размер частиц;

l – линейный размер рабочего органа.

Как следует из этих формул, коэффициенты внутреннего и внешнего трения должны быть равными, а максимальный размер частиц для обработки моделью составляет:

$$d_m = d_n \frac{l_m}{l_n} = d_n K_l.$$

Твердость (плотность) почвы определяется по соотношениям:

$$\rho_m = \frac{h_m \cdot \delta}{F}; \rho_n = \frac{h_n \delta}{F}.$$

Тогда коэффициент твердости составит:

$$K_\rho = \frac{\rho_m}{\rho_n} = \frac{h_m}{h_n} = K_l,$$

где h_m – величина деформации почвы-модели;

h_n – величина деформации почвы-натуры.

Основные коэффициенты подобия приведены в табл. 5.2.

Таблица. 5.2

Основные коэффициенты подобия при исследовании моделей рабочих органов плуга в лабораторном почвенном канале

Коэффициенты	K_l	K_t	K_m	K_v	K_a	K_p	K_d	K_p	K_n
Значения	0,2	$\sqrt{K_l}$	K_l^3	$\sqrt{K_l}$	l	K_l^3	K_l	K_l	$K_l^{3,5}$

Указанные коэффициенты учтены при построении лабораторного почвенного канала и его рабочих органов.

Лабораторный почвенный канал (рис. 5.4. и 5.5) включает ящик с почвой, несущую раму, тяговую станцию с пультом управления и динамометрическую тележку.

Рама установлена сверху ящика и может перемещаться в поперечном направлении из крайнего левого в крайнее правое положение с фиксированием в прорезях верхнего контура ящика.

На раме смонтирована тяговая станция, которая обеспечивает движение динамометрической тележки на трех скоростях: 0,671; 0,894 и 1,118м/с, что соответствует рабочим скоростям тракторного пахотного агрегата 5,4; 7,2 и 9 км/ч.

Динамометрическая тележка опирается роликами на несущий пояс

рамы. На тележке смонтированы: суппорт, пружинный динамометр и лентопротяжный барабан с самописцем.

Суппорт служит для крепления рабочих органов и позволяет регулировать глубину хода их от 0 до 6 см. Суппорт перемещается вдоль тележки винтом и имеет три фиксированных положения. Пружинный динамометр рассчитан на максимальное усилие 50Н, что соответствует тяговому сопротивлению корпуса натурального образца 6250Н.



Рис. 5.5. Динамометрическая тележка

Перед испытанием динамометр тарируют.

Образец тарировочной диаграммы, калибр пружины и образец динамограммы моделей представлены на рис.5.6.

Практика использования лабораторного почвенного канала показала, что в нем достигается только приближенная степень подобия реальному процессу вспашки. Основной причиной ошибок является несоответствие почвы канала условиям физического моделирования.

Проф. В.С. Кировым [19] подобран состав моделируемой почвы, эквивалентной оригиналу. В состав ее входит торф, песок, глина, масло веретенное. Грунт необходимо уплотнить до $\gamma = 1,2 \dots 5,7 \text{ г/см}^3$. Подготовить такой грунт в достаточном количестве и, особенно, поддерживать необходимое состояние в продолжительное время затруднительно. Положительной стороной такой лабораторной работы является хорошая иллюстрация теории подобия И. Ньютона и, в конечном счете, *первой теоремы подобия*, согласно которой подобные явления имеют одинаковые критерии подобия.

Существенный вклад в теорию подобия внес Ж. Фурье в работе «Аналитическая теория» теплопроводности, где он указывал на свойство размерной однородности всех членов уравнений математической физики.

Таким образом, были заложены основы теории размерностей в физическом моделировании.

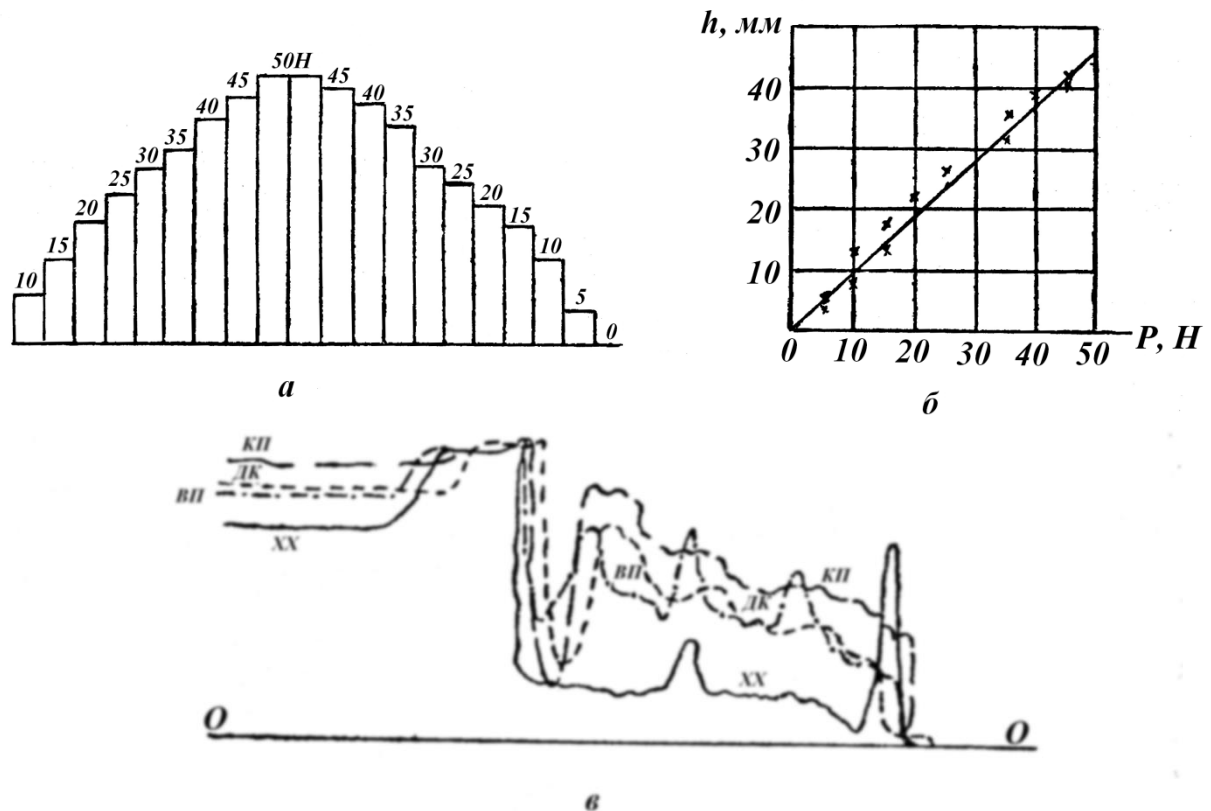


Рис. 5.6. Тарифовочная диаграмма (а), калибр пружины (б) и образец динамограммы моделей (в).

КП – корпус с поверхностью культурного вида; ВП – корпус с винтовой поверхностью; ДК – дисковый корпус; ХХ – проход модели корпуса в открытой борозде (холостой ряд).

Критерии подобия стало возможным определять различными путями: либо из условий тождественности уравнений, описывающих процессы, или из анализа размерностей, разновидностью которого является метод нулевых размерностей. Основой анализа размерности является положение о том, что все математические равенства, выражающие связь между физическими величинами, должны быть размерно-однородными или однородными по размерности.

Это означает:

- размерность правой части равенства должна быть такой же, как и размерность левой части того же равенства;
- складывать и вычитать можно только величины одной размерности.

Эти очевидные правила (вряд ли кому-нибудь представится возможность складывать один килограмм с одним метром) позволяют получать нетривиальные результаты, что вызывает у начинающих исследователей настороженное отношение к анализу размерностей. С одной стороны, результаты получаются как бы «из ничего», из бесспорных предпосылок, которые не похожи на привычный фундамент физических наук; с другой стороны, результаты не имеют окончательных физических зависимостей, они требуют дополнительного, чаще всего экспериментального изучения явлений.

Окончательно основная теория теоремы подобия, так называемая П-теорема, о возможности выражения физических законов в виде зависимости между безразмерными числами (критериями подобия) была доказана в начале XX столетия и опубликована в трудах Кучинского аэродинамического института, организованного Н.Е. Жуковским и работающего под его руководством в 1912 г.

П-теорема формулируется следующим образом.

Функциональная зависимость между характеризующими процесс величинами может быть представлена в виде зависимости между составленными из них критериями подобия.

Иными словами, П-теорема содержит доказательство возможности приведения того или иного уравнения к критериальному виду.

Третья теорема (теорема Кирпичева-Гухмана) ограничивает пределы распространения понятия явлений подобия и кратко формулируется: *подобными явлениями будут те, которые имеют подобные условия однозначности и одинаковые определяющие критерии.*

Под условием однозначности понимают геометрическое подобие, т.е. пропорциональность линейных размеров и равенство угловых параметров, установление значений физических параметров, формирование начальных и граничных условий.

Итак, в соответствии с идеями Ж. Фурье и основной П-теоремой теории подобия, критериальные уравнения могут быть составлены на основе анализа *размерностей*.

5.2.2. Анализ размерностей в теории подобия

Очень часто с помощью теории размерностей можно найти искомую закономерность связи между физическими величинами, когда нахождение ее прямым путем встречает значительные математические трудности, либо требует знания таких деталей процесса, которые заранее неизвестны.

Единицы физических величин, подобранные определенным образом, составляют *систему единиц* – т.е. совокупность единиц физических величин, образованную с принятыми правилами. Существует большое количество систем единиц: СГС, МКГС, СИ и др. В настоящее время используют в основном систему СИ, основные единицы которой представлены в таблице 5.3. Помимо обозначения величин в ней приведены обозначения размерностей. Поскольку таких обозначений может быть много, то для определенности используют чаще встречаемые, представленные, например, во вполне доступном учебном пособии А.В. Филончикова [18].

Все производные единицы СИ получены на основе физических законов. Допустим, единица силы Ньютон определяется из закона Ньютона

$$F = m \cdot a,$$

как произведение массы на ускорение, т.е.

$$1H = кг \cdot м/с^2.$$

Таблица 5.3

Основные единицы физических величин

Наименование величин и единиц	Длина, метр	Масса, килограмм	Время, секунда	Сила тока, ампер	Температура, Кельвин	Количество вещества, моль	Сила света, кандела
Обозначения величин	м	кг	с	А	К	моль	кд
Обозначения размерностей	L	M	T	I	T	μ	i

Единица работы (Джоуль) определится как произведение силы на перемещение, т.е.

$$1 \text{ Дж} = H \cdot m = \text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2,$$

единица скорости м/с и т.д.

Но, вообще говоря, скорость может быть обозначена и иначе, например, в км/ч .

Для того, чтобы не вникать в соотношение кратных единиц в теории размерностей вводят их *обозначения*. Размерность скорости обозначают как L/T , единицу площади м^2 представляют как L^2 , единицу плотности – как M/L^3 .

Для характеристики изменения производной единицы в зависимости от изменения основных единиц служит *формула размерности*, т.е. математическое выражение, показывающее, во сколько раз изменится производная единица при определенных изменениях основных единиц.

Формула размерности формируется как некоторая *степенная* зависимость.

Если, например, некоторая величина A имеет формулу размерности

$$[A] = L^P M^q T^r,$$

то при изменении длины она изменится пропорционально степени P , при изменении единицы массы – пропорционально степени q , а при изменении времени – пропорционально r .

Определение этих показателей степеней, если это возможно, и составляет решение задачи.

Например, автомобиль массой m , опирается на пружинные подвески (рис.5.6).

В положении равновесия он занимает положение A . Под воздействием внешних сил (допустим, со стороны дороги) пружины сожмутся на величину l . В простейшей модели движение рассматривается только вдоль вертикали, т.е. с единственной пока степенью свободы и одинаковыми пружинами. Пусть их общая жесткость равняется C .

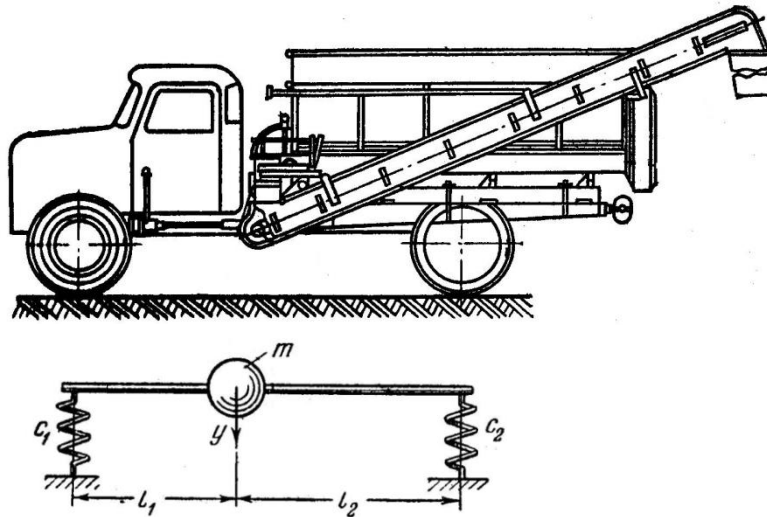


Рис. 5.6. Модель колебания автомобиля

В следующих разделах будут рассмотрены и более сложные случаи плоских и пространственных колебаний.

Для восстановления уровня автомобиля в исходное положение к нему необходимо приложить силу, пропорциональную l , т.е. $F = C \cdot l$.

Время восстановления пружины желательно установить, так как от этой величины зависит частотная характеристика динамической системы подвески автомобиля.

Можно предположить, что это время t будет зависеть от l, m, c , т.е.

$$t = f(l, m, c).$$

Размерность величин, входящих в формулу, соответственно: L – для величины деформации l , M – для массы m и MT^2 – для коэффициента c .

Алгебраической функции $t = kl^p m^q c^r$, где k – неизвестный безразмерный коэффициент пропорциональности; будет соответствовать формуле размерности:

$$T = L^p M^q (M \cdot T^{-2})^r = L^p M^{q+r} T^{-2r}. \quad (5.1)$$

Анализ частей уравнения показывает, что в левой части есть только T с показателем степени равным единице. M и L там отсутствуют, но их можно ввести туда в нулевой (0) степени, тогда

$$L^0 M^0 T^1 = L^p M^{q+r} T^{-2r}. \quad (5.2)$$

Поскольку размерность левой и правой частей должны быть одинаковыми, то из показателей степеней можно составить три уравнения с тремя неизвестными (p, q, r).

Первое уравнение системы – это сумма показателей степени при L в левой и правой частях формулы равномерностей, второе – сумма показателей степени при M , а третье уравнение – сумма показателей степени при T .

$$\left. \begin{aligned} p &= 0 \\ q + r &= 0 \\ -2 \cdot r &= 1 \end{aligned} \right\}.$$

Чтобы не перепутать, к какой размерности относятся те или иные показатели степени, запись системы уравнений осуществляют так:

$$\left. \begin{array}{l} L: p = 0 \\ M: q + r = 0 \\ T: -2 \cdot r = 1 \end{array} \right\}.$$

Решение этой системы дает $r = -1/2$; $q = 1/2$ и позволяет искомую зависимость (5.1) привести к уравнению:

$$T = k \cdot l^0 m^{1/2} k^{-1/2}, \text{ т.е. } t = k \sqrt{\frac{m}{c}}.$$

Уравнение дает общую закономерность, т.к. не определен пока коэффициент k . Но есть уже и нетривиальный результат: оказалось, что время возвращения в исходное состояние не зависит от удлинения пружины.

Точное решение может быть определено экспериментально или исходя из законов механики:

$$t = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{c}}.$$

К сожалению, столь простой способ определения показателей степени исходного уравнения не всегда возможен. Часто это связано с тем, что в него входит большое число факторов, во всяком случае больше независимых размерностей. В этом случае часть уравнений системы оказывается зависимой.

В этом случае к формуле размерностей добавляют (согласно П-теореме) критериальное уравнение, например:

$$P_1 = f(P_2 P_3 P_7 \dots P_m), \quad (5.3)$$

где P_i – критерии подобия тех или иных показателей (факторов или соответствующих размерностей), которые приходится предварительно находить.

Критерием того, что то или иное сочетание факторов или размерностей могут представить коэффициент подобия, является его *безразмерность*. Примером разработки критериального уравнения с использованием теории размерностей может быть исследование характеристик подобия вентиляторов. Рабочий процесс вентилятора определяют следующие величины: плотность среды ρ , кг/м^3 , число оборотов в единицу времени n , с^{-1} , диаметр крылача D , м, расход воздуха Q , $\text{м}^3/\text{с}$, напор H , н/м^2 и мощность N , Вт.

Между этими величинами существует некоторая функциональная зависимость:

$$f(\rho, n, D, Q, H, N) = 0,$$

которая, согласно П-теореме, может быть представлена в виде зависимости между критериями подобия. Подобными вентиляторами считаются те, у которых все угловые параметры одинаковы, а линейные – пропорциональны.

Для перехода к критериям подобия в качестве основных единиц могут быть выбраны ρ , n , D . Размерности остальных величин в новых

единицах окажутся следующими:

$$[Q]=[D] \cdot [n]; \quad [H]=[\rho] \cdot [D]^2 \cdot [n]^2; \quad [N]=[\rho] \cdot [D]^5 \cdot [n]^3. \quad (5.4)$$

Применяя метод нулевых размерностей находят:

$$f\left(1,1,1,\frac{Q}{D^3 n},\frac{H}{\rho D^2 n^2},\frac{N}{\rho D^5 n^3}\right)=0, \quad (5.5)$$

$$\text{или } \Phi[\Pi_1; \Pi_2; \Pi_3]=0, \quad (5.6)$$

$$\text{где } \Pi_1 = \frac{Q}{D^3 n}; \quad \Pi_2 = \frac{H}{\rho D^2 n^2}; \quad \Pi_3 = \frac{N}{\rho D^5 n^3}.$$

На основании экспериментальных исследований нетрудно построить на плоскости обобщенную характеристику вентилятора $\Pi_1=f(\Pi_2)$ с параметром Π_3 . Каждая точка плоскости будет при этом соответствовать шести параметрам, что в конечном итоге обеспечивает принципиальную возможность нахождения всех показателей степеней параметров степенного комплекса.

Соотношения (5.4, 5.5, 5.6) используют для расчета вентиляторов методом подобия и построения универсальных характеристик.

В этом случае выбирают вентилятор-образец с параметрами, допустим, Q, H_T, D, b, n и пересчитывают его размеры и режим работы так, чтобы он обеспечивал необходимый расход Q_x и напор H_{Tx} .

Из коэффициентов подобия следует, что

$$\frac{Q_x}{Q} = \frac{n_x D_x^3}{n D^3}, \text{ откуда } \frac{n_x}{n} = \frac{Q_x D^3}{Q D_x^3} \quad (5.7)$$

$$\frac{H_{Tx}}{H_T} = \frac{n_x^2 D_x^2}{n^2 D^2}, \text{ откуда } \frac{n_x^2}{n^2} = \frac{H_{Tx} D^2}{H_T D_x^2}. \quad (5.8)$$

Если первое из этих соотношений возвести в квадрат, то из равенства левых частей уравнений следует равенство правых, т.е.

$$\frac{Q_x^2 D^6}{Q^2 D_x^6} = \frac{H_{Tx} D^2}{H_T D_x^2} \text{ или после сокращений } \frac{Q_x^2 D^4}{Q^2 D_x^4} = \frac{H_{Tx}}{H_T},$$

откуда можно определить наружный диаметр проектируемого вентилятора:

$$D_x = \sqrt[4]{\frac{Q_x^2}{Q^2} \frac{H_T}{H_{Tx}} D^4} = D \cdot \sqrt[4]{\frac{Q_x^2}{Q^2} \frac{H_T}{H_{Tx}}}.$$

Теоретический напор $H_T = h/\eta$,

где h – действительный напор, развиваемый вентилятором, а η – коэффициент полезного действия.

С учетом этого

$$D_x = D \cdot \sqrt[4]{\frac{Q_x^2}{Q^2} \cdot \frac{h}{h_x}}.$$

После этого по уравнению (5.12) следует найти n_x

$$n_x = n \cdot \frac{Q_x \cdot D^3}{Q \cdot D_x^3}$$

и коэффициент геометрического подобия $k = \frac{D_x}{D}$, с помощью которого находят все недостающие параметры проектируемого вентилятора.

5.3. Аналоговое моделирование

Возможность создания аналоговых моделей опирается на сходство описания в ряде случаев явлений, различных по своей физической сущности. Примерами могут служить даже основательные законы механики, физики и химии.

В механике широко используется закон о том, что «Изменение кинетической энергии $(T = mv^2/2)$ твердого тела равно работе внешних сил, приложенных к нему».

Применительно, допустим, к некоторой силе сопротивления F_T , препятствующей движению тела вдоль оси x , закон выражается уравнением:

$$F_T = dT/dx.$$

В одном из разделов физики изучаются явления, связанные с переносом тепла и тепловыми потоками. Тепловой поток q_T в направлении x связан с изменением температуры T в этом направлении и описывается законом Фурье:

$$q_T = -\lambda \frac{dT}{dx},$$

где λ – коэффициент теплопроводности.

В разделе «Электричество» изучается закон Ома в дифференциальной форме, который связывает перенос количества электричества в единицу времени (ток i) через проводник, имеющий погонное сопротивление ρ , с изменением величины падения напряжения U по длине проводника x :

$$i = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{du}{dx}.$$

В физической химии одним из основных законов является закон Фика, связывающий перенос количества вещества (поток вещества g_B) в некотором направлении x и с изменением концентрации C вещества в этом направлении.

$$g_B = -D \frac{dC}{dx},$$

где D – некоторая постоянная.

Во всех этих физических законах легко замечается одна форма математических выражений, тогда как физическая сущность различна.

Такие одинаковые по форме явления называют *изоморфными*. Они отличаются только материальным, физическим содержанием входящих в их описания символов.

Математический изоморфизм различных физических систем позволяет одни системы представлять с помощью других

Целесообразность таких замен может диктоваться целым рядом обстоятельств, таких, например, как простота и относительная дешевизна модели, удобство постановки различных экспериментов, наличие необходимой аппаратуры, соображениями техники безопасности и т.д.

На этом принципе математического изоморфизма основано аналоговое моделирование. Оно может быть в виде специального устройства, так называемого *модель-аналога* или осуществлено на аналоговой вычислительной машине (АВМ).

Например, процесс потери напора воды в сложной и громоздкой водопроводной или оросительной системе можно изучить на моделях передачи тепла или на электрической схеме (рис. 5.7). Сопоставление этих моделей показывает, что аналогом гидравлического напора H при теплопередаче может быть температура T , а в электрической – напряжение U . Аналогами гидравлического сопротивления могут быть, соответственно, тепловые или электрические сопротивления.

Аналогом напора – являются теплоемкости C_T и емкости конденсаторов C_i .

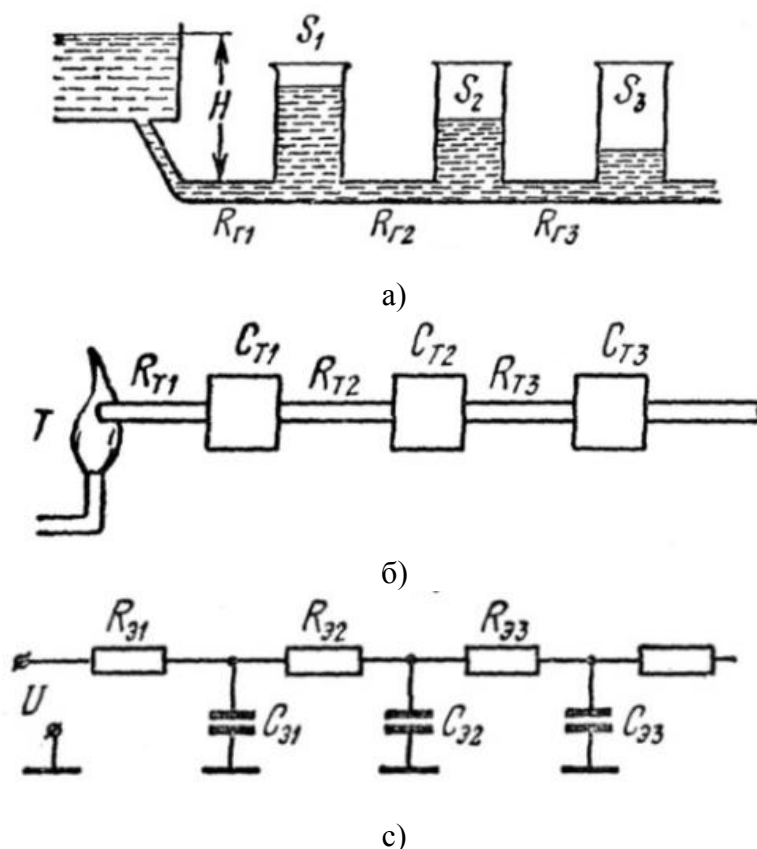


Рис. 5.7.
Схемы модель-аналогов

Прямыми аналогами механической, допустим, демпферной системе (рис. 5.8а) могут быть электрические схемы, содержащие резисторы R , индуктивности L и емкости C (рис. 5.8б, 5.8в).

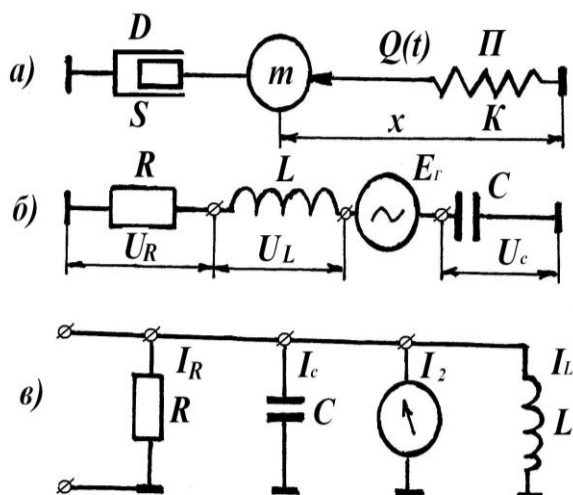


Рис. 5.8. Аналогии механической системы

Элементами механической системы являются масса m , совершающая продольные колебания, пружина Π с коэффициентом жесткости K , демпфер D с коэффициентом трения S и внешняя сила $Q(t)$.

Аналогом скорости V системы можно считать ток I , силы инерции $Q(m)$ – падение напряжения от индуктивности $U_L = L \frac{dI}{dt}$. Аналогом силы трения – падение напряжения на сопротивление $U_R = RI$ и аналогом восстанавливающей силы – напряжение на емкости $U_C = \frac{1}{C} \int I dt$.

Аналогом внешней силы $Q(t)$ будут электродвижущая сила генератора $E_I(t)$.

Иными словами индуктивность L аналогична массе m , сопротивление R – коэффициенту трения S и емкость C – коэффициенту податливости пружины $1/k$.

Наиболее распространенные аналогии механических и электрических систем представлены в табл. 5.3, а возможные варианты полей-аналогов – в табл. 5.4.

При моделировании тепловых систем фазовыми переменными типа *потока* являются температуры T , а типа *потенциала* – тепловые потоки Φ .

Значение переменной типа потенциала Φ и характеризует величину теплового потока, затрачиваемую на изменение кинетической энергии дискретного элемента твердого тела в процессе теплопередачи, а значение $\Phi \delta$ – величину потерь, обусловленную преодолением теплового сопротивления.

Упругими свойствами тепловая система не обладает. Это следует из того, что тепловая энергия может передаваться только от более нагретых элементов к менее нагретым.

В качестве нагрузочного элемента при моделировании тепловых и аэродинамических процессов часто используют электропроводную бумагу, позволяющую исследовать пространственные характеристики полей, путем измерения потенциалов в их различных точках.

Таблица 5.3 Часто используемые аналоги механических и электрических систем

Механическая система			Электрическая система			
Физическая величина	Линейное перемещение	Угловое перемещение	Физическая величина			
Обобщенная координата	x	φ	Заряд	q	Магнитное потоко-сцепление	Ψ
Обобщенная скорость	V	Ω	Ток	I	Напряжение	U
Обобщенная сила	Q	M	Напряжение	U	Ток	I
Обобщенная масса	M	θ	Индуктивность	L	Емкость	C
Виртуальная работа	$Q dx$	$M d\varphi$		$U t d$		$I d\psi$
Количество движения	$m V$	$Q \Omega$	Магнитное потоко-сцепление	Ψ	Заряд	q
Коэффициент трения	S_L	S_K	Сопротивление	R	Проводимость	G
Податливость	$e_L = \frac{1}{K_L}$	$e_R = \frac{1}{K_R}$	Емкость	C	Индуктивность	L
Жесткость	K_L	K_R		$\frac{1}{C}$		$\frac{1}{L}$
Кинетическая энергия	$T = \frac{1}{2} \sum m V^2$	$T = \frac{1}{2} \sum \theta \Omega^2$	Магнитная энергия	$W_M = \frac{1}{2} \sum L I^2$	Электрическая энергия	$W_{\Psi} = \frac{1}{2} \sum C U^2$
Потенциальная энергия			Электрическая энергия	$W_{\Psi} = \frac{1}{2} \sum \frac{q^2}{C}$	Магнитная энергия	$W_M = \frac{1}{2} \sum \frac{\Psi^2}{L}$
Рассеяние энергии	$F = \frac{1}{2} \sum S_L V^2$	$F = \frac{1}{2} \sum S_R \Omega^2$	Рассеяние энергии	$W_P = \frac{1}{2} \sum R I^2$	Рассеяние энергии	

Таблица 5.4

Возможные варианты выбора аналогов при исследовании полей

Постоянное электрическое поле в диэлектрике	Стационарное электрическое поле тока в проводящей среде	Постоянное магнитное поле	Потенциальное гидродинамическое поле идеальной жидкости
$E = \text{grad} U$	$E = -\text{grad} U$	$H = -\text{grad} U_M$	$V = -\text{grad} \varphi$
$\int_s \vec{D} ds = Q$	$\int_s \vec{\delta} ds = I$	$\int_s \vec{B} ds = \Phi$	$\int_s \rho \vec{V} ds = G_M$
$\text{div } D = 0$ $\text{rot } E = 0$	$\text{div } \delta = 0$ $\text{rot } E = 0$	$\text{div } B = 0$ $\text{rot } H = 0$	$\text{div } V = 0$ $\text{rot } V = 0$
U - электрический потенциал; E - вектор напряженности электрического поля; D - электрическое смещение; Q - поток электрического смещения;	U - электрический потенциал; E - вектор напряженности электрического поля; δ - вектор плотности тока; I - ток	U_M - скалярный магнитный потенциал; H - вектор напряженности магнитного поля; B - магнитная индукция; Φ - магнитный поток;	φ - гидродинамический потенциал скорости; V - вектор скорости; ρ - плотность; G_M - расход массы

В качестве примера использования таких аналогов в исследованиях, связанных с земледельческой механикой, можно провести работу А.Е. Петренко [20] из Украинской СХА, где с помощью электропроводной бумаги было изучено аэродинамическое поле в щелевых высевающих аппаратах (рис.5.9).

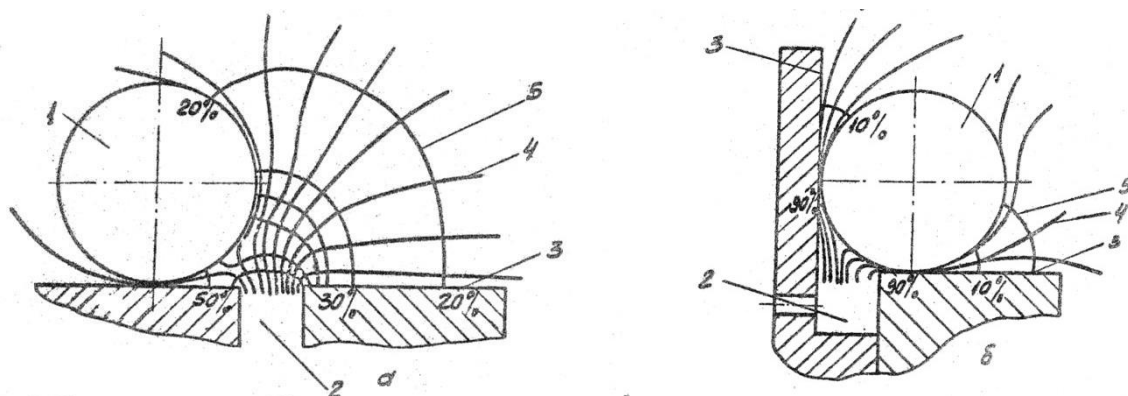


Рис. 5.9. К моделированию воздушного поля щелей с одной направляющей плоскостью (а) и двумя направляющими плоскостями (б): 1 - семя; 2 – вакуумная щель; 3 – направляющая плоскость; 4 – линии тока; 5– эквипотенциалы (от 10 до 90%), т.е. линии равных скоростей, выраженных в % от скорости воздуха в плоскости щели

Аналогичная работа была проведена в Новгородском госуниверситете Н.М. Андриановым [21].

При исследовании движения теплоносителя в сушилке было установлено, что аналитически его течение можно описать системой уравнения Навье-Стокса, которая в векторной форме для движения вязкого несжимаемого газа в пористой изотропной среде имеет вид, характерный в механике сплошных сред.

$$\frac{dV}{dt} = F - \frac{1}{\rho} \text{grad}P + \frac{h}{R_e} \Delta V - \zeta V; \text{div} \varepsilon V = 0,$$

где V – вектор скорости частиц газа;

F – вектор массовых сил;

ρ – плотность газа;

P – давление;

$h = D/L$, (D и L) – характерные размеры потока газа);

R_e – число Рейнольда;

ζ – коэффициент кинематической вязкости;

ε – пороздность слоя, зависящая от размера зерновок d_3 ;

d_3 – эквивалентный диаметр зерновок;

Δ – оператор Лапласа.

С учетом очень многих упрощений (идеальный невесомый газ с симметричным течением между коробами и одинаковостью условий течения вдоль коробов) позволили свести задачу к исследованию плоских потенциальных течений, согласно которому потенциал скорости частиц газа $\varphi(x,y)$ и функция линий тока $\psi(x,y)$ – гармонические функции, подчиняющиеся уравнению Лапласа:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} &= 0 \\ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (5.9)$$

где x – изменение координаты пространства вдоль линии тока А-В (рис.5.10а); y – изменения координаты вдоль короба.

Поскольку определение условий на границах раздела сред, т.е. на границах входа газа в слой зерна и выхода из него оказалось проблематичным, то исследование проведено с использованием метода электродинамических аналогий, возможность применения которого обоснована тем, что течение электрического тока в проводящей среде также подчиняется уравнению Лапласа.

Принципиальная электрическая схема исследуемой модели течения газа представлена на рис.5.10б.

Модель изготавливали из электропроводящей бумаги в масштабе 1:5. Область суши, занятую зерном, имитировали прокалываниями в бумаге отверстий диаметром, равным эквивалентному диаметру зерна соответствующей культуры. Расстояния между отверстиями определяли, исходя из

имитируемой порозности зернового слоя. Протяженность области сушики выбирали равной длине линий тока между подводящими и отводящими коробами сушилки (с учетом масштаба). На рис.5.10б отводящий короб и диффузор изображены в повернутом виде по сравнению с их реальным расположением в сушилке, что соответствует развертке на плоскость поверхности, которой принадлежат линии тока (рис.5.10а).

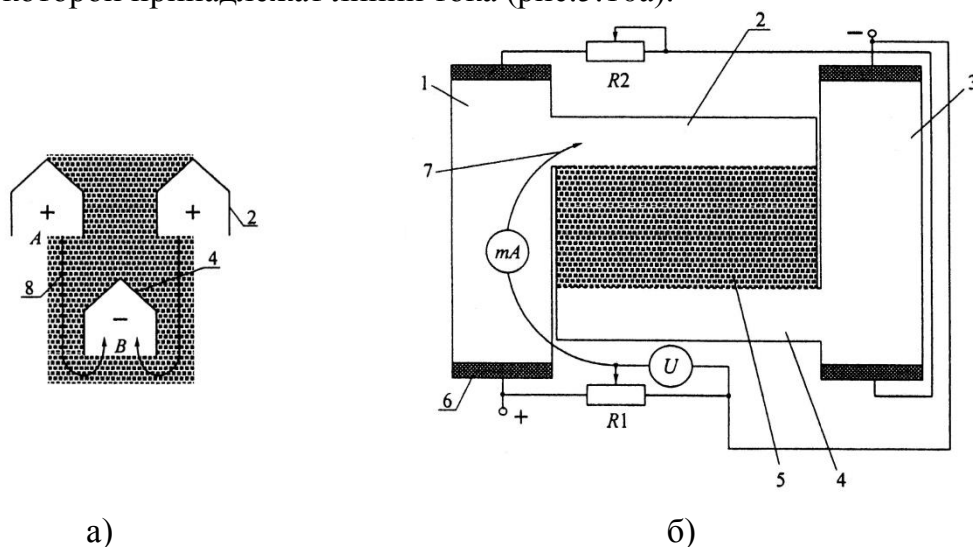


Рис.5.10. Схема течения газа в сушильном пространстве зерносушилки типа СЗШ (а) и принципиальная электрическая схема исследуемой модели течения газа (б):

1, 3 – подводящий и отводящий диффузоры; 2, 4 – подводящий и обводящий короба; 5 – область сушики; 6 – электроды; 7 – щуп; 8 – линия тока газа

Резистором R_1 задавали требуемую разность потенциалов, а при помощи миллиамперметра и щупа определяли координаты точек линий равных потенциалов. Результаты исследования отражены на рис.5.11.

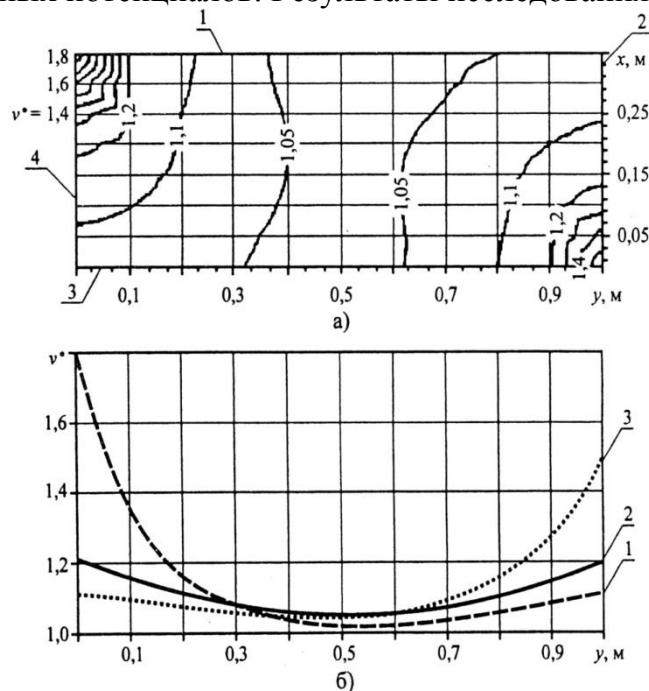


Рис.5.11. Характеристика поля скорости газа в относительных значениях: а – изолинии равных скоростей, б – изменение скорости вдоль короба

В приведенных примерах, в соответствии с таблицей 5.3 характерных аналогий, скорость воздушного потока имитируется величиной тока. Возможны и другие аналогии скорости.

В одной из наших работ [19] возникла необходимость имитации скорости движения сеялки при исследовании равномерности подачи семян высевающим диском на дно борозды. Задача возникла в связи с тем, что для проверки непротиворечивости опытных данных гипотезе о виде закона распределения семян (гамма-распределению) требовались достаточно представительные выборки (до десятков тысяч измерений). Для выполнения этого было предположено электронное устройство (по а.с. 202607). Семена из аппарата падали на гребенку из пьезодатчиков, а движение сеялки имитировалось блоками одновибраторов, обеспечивающих задержку времени прохождения импульса (рис. 5.12).

Изменение скорости движения имитировалась изменением времени задержки импульсов перед записью на магнитную ленту.

К аналоговой группе часто относят и моделирование на так называемых *структурных* АВМ, представляющих собой в большей мере *счетно-решающие* устройства.

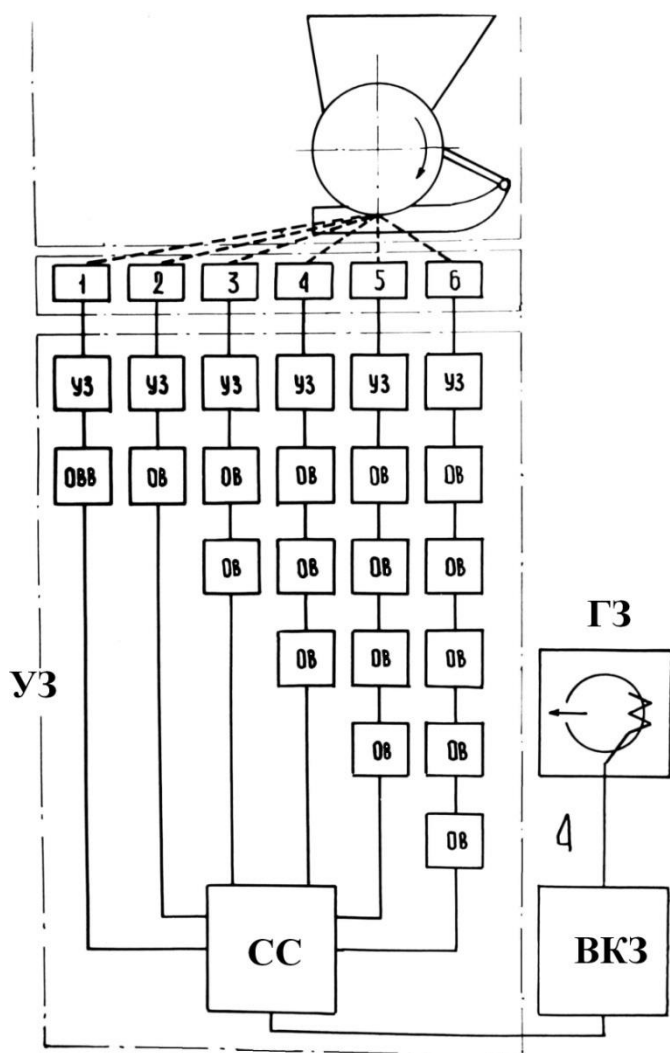


Рис.5.12. Функциональная схема тракта записи импульсов:

УЗ – усилитель запуска; ОВ – одновибратор задержки; ОВВ – одновибратор формирования импульсов; СС – схема сборки импульсов; ВКЗ – выходной каскад записи; ГЗ – головка магнитной записи

Некоторые разногласия по поводу принадлежности этих машин к той или иной группе возникают потому, что, вообще говоря, на аналоговых АВМ решают математические уравнения, т.е. предварительно должно уже быть проведено математическое моделирование, ведь решение задач на цифровых вычислительных машинах к *моделированию на материальных объектах* не относят.

Аргументами другой точки зрения является то, что эти машины конструктивно состоят из отдельных *операционных блоков*, каждый из которых воспроизводит какую-либо одну математическую операцию: сложение, умножение, интегрирование, дифференцирование, преобразование функций и т.д., другими словами, операционные блоки структурной АВМ изоморфны математическим операциям.

В соответствии с видом решаемых уравнений из таких блоков создается схема АВМ, почленно отражающая математические операции решаемого уравнения. Если состав цифровой ЭВМ при решении любых задач остается неизменным, то решению их на АВМ предшествует соединение отдельных блоков в *вычислительную систему* путем установления *связей* между отдельными блоками. Наличие связей указывает на факт передачи операции с выхода одного операционного блока на входы других.

Программа для решения задач по АВМ представляется в виде так называемой *структурной схемы*, на которой условными обозначениями показаны используемые операционные блоки, а в виде линий изображены связи между блоками.

Машинной переменной на ЭВМ является *электрическое напряжение*.


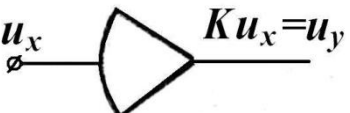
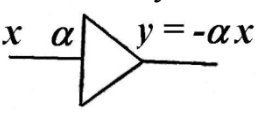
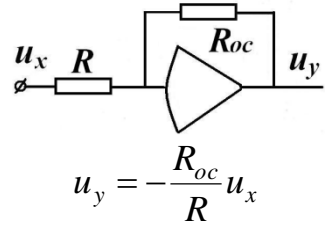
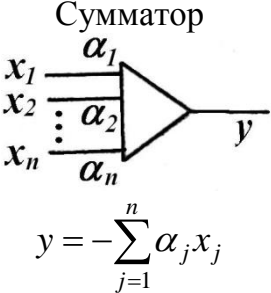
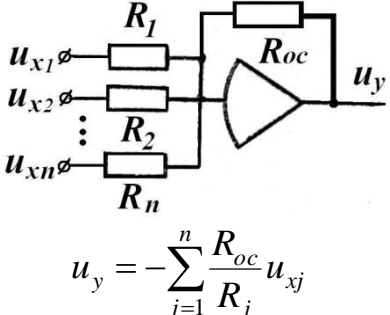
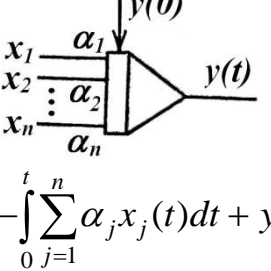
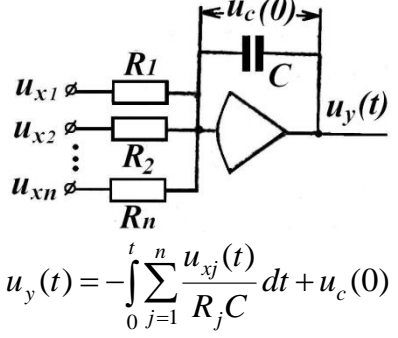
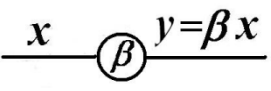
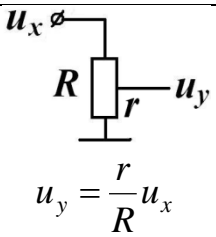
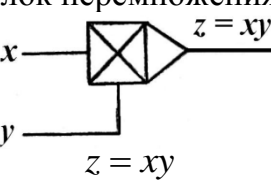
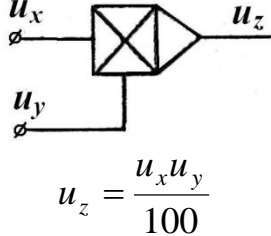
Имеющееся сходство решения математических задач на АВМ с экспериментом особенно проявляется в способах получения результата. В данном случае он сводится к измерению значений физических величин теми или иными приборами. Основным элементом большинства операционных блоков является *операционный усилитель*, который может осуществить операции сложения, интегрирования, дифференцирования за счет организаций той или иной *обратной связи* (табл. 5.5).

Решение задач на аналоговых вычислительных машинах было широко распространено в 60...80 гг. прошлого века. Дело в том, что в эти годы цифровые ЭВМ были малодоступны для большинства исследователей. Они были малонадежны, занимали большие помещения, организационно входили в крупные вычислительные центры, возможное так называемое машинное время планировалось на длительный срок. Очень сложным было программирование их работы.

Аналоговые машины, сначала ламповые типа МН-7, затем полупроводниковые – МН-10, позднее аналого-цифровые (гибридные) типа «Экстрема» были гораздо компактнее (размещались во всяком случае на столе), дешевле (их легко приобретала любая кафедра, да еще и не по одной). Большой интерес вызывала работа на них у студентов. Можно было исследовать влияние на процесс многих факторов и в достаточно широких пределах.

Таблица 5.5

Основные блоки аналоговой вычислительной машины

Название блока, его обозначение и математические связи	Схема соединений, машинные переменные	Техническая характеристика
Операционный усилитель 		$K \geq 4 \cdot 10^4$ - коэффициент усиления
Масштабный усилитель 		$\alpha = \frac{R_{oc}}{R}$ - коэффициент передачи масштабного усилителя
Сумматор 		$\alpha_j = \frac{R_{oc}}{R_j}$ - коэффициент передачи сумматора по j-му входу
Интегратор (интегросумматор) 		$\alpha_j = \frac{1}{R_j C}$ - коэффициент передачи интегратора по j-му входу
Потенциометр 		$\beta = \frac{r}{R}$ - коэффициент передачи потенциометра $0 \leq \beta \leq 1$
Блок перемножения 		$\frac{1}{100}$ - схемный масштаб блока переумножения

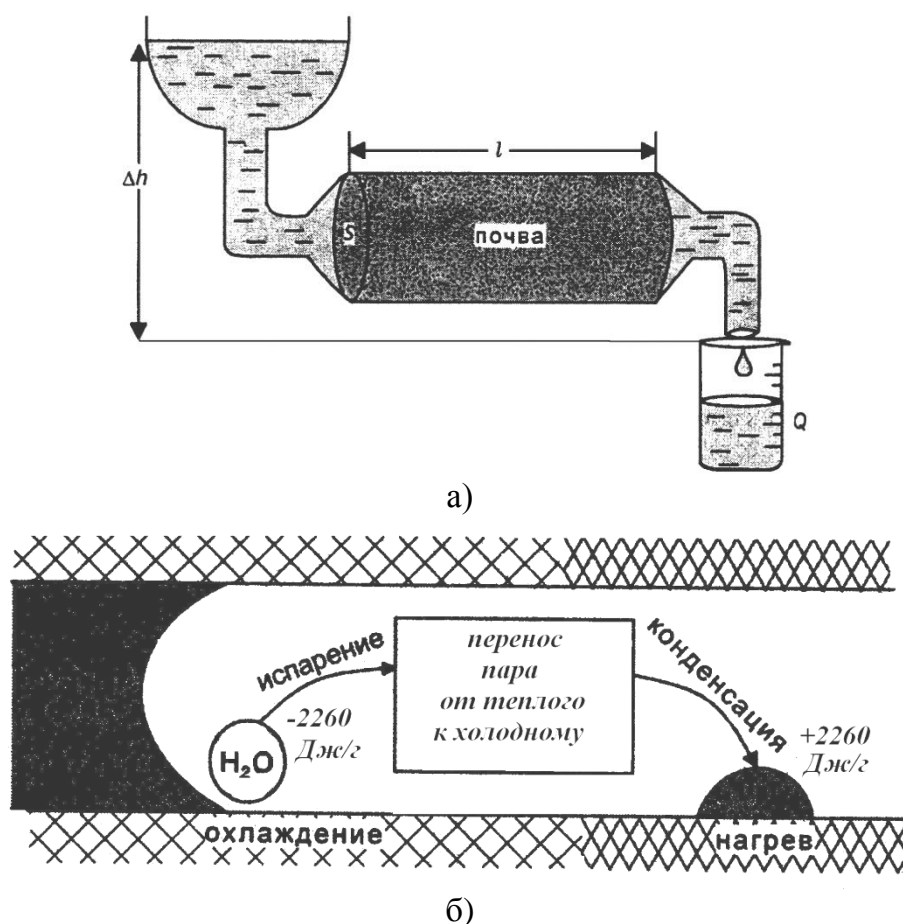


Рис. 5.14. Агрофизические модели исследования свойств почв

Предметными моделями в агрономии являются сосуды с биологическими культурами, чашка Петри, климатические камеры, опытные делянки, поля и др.

Чаще всего агробиологические модели строятся на основе экспериментальных исследований. Вероятностный характер многих биологических процессов представляет повышенные требования к планированию, проведению и обработке результатов лабораторных и особенно полевых опытов, на основе которых строится впоследствии большинство агрономических и агрохимических моделей.

5.4. Знаковое моделирование. Вербальные и алгоритмические модели

Альтернативой физическому моделированию является знаковое, когда модель формируется в виде некоторых условных символов, имеющих для людей вполне определенные значения (язык, графические изображения, математические выражения и т.п.).

Вербальные (словесные, языковые) модели обычно являются начальным этапом любого исследования.

Ранее уже было отмечено мнение одного из ведущих ученых в области философии науки 20 века К. Поппера [3] о роли дискуссии в науке. Он считал позитивную дискуссию одним из основных методов современных

исследований. Не случайно развитие науки связывают с существованием научных школ, и придают большое значение общению ученых на конференциях, симпозиумах, защитах диссертаций и т.п. При общении значительно возрастает *осведомленность* людей, т.к. дополняются знания одних знаниями других, причем в активной, а порой и высоко-эмоциональной форме, позволяющей обратить внимание на те или иные факторы, влияющие на изучаемое явление. Иногда исследование начинают с так называемой экспертной оценки, где запрашивают специалистов о факторах, влияющих на процесс и их ранжирование.

Мнение специалистов очень важно при построении комплексных оценок и критериев, если приходится принимать решение на основе противоречивых результатов. Например, при испытаниях машин определяется огромное количество показателей, выявленных при технической экспертизе, агротехнической, энергетической, технологической оценках, характеристиках надежности, условий безопасного труда, и обобщить эти данные невозможно без учета их «веса», «вклада» в конечный результат, оценить которые объективно пока не удастся, так что приходится опираться на оценки экспертов.

При решении сложных задач вынуждены прибегать к идеализации того или иного процесса, при этом стараются «отсечь» так называемые *несущественные факторы*. Если объективных методов оценки влияния отдельных факторов пока нет, и получить их в данный момент затруднительно, то также прибегают к мнению экспертов. В таком случае вербальная модель решает, как говорят, задачу *отсечения лишнего*.

Значительную роль *вербальные модели* играют в *поиске аналогий*.

Трудно себе представить иную, чем словесную модель броуновского движения в физике как *траекторию пьяного человека*, задачу «разборчивой невесты», процесса «рождения и гибели», теории эпидемий. Только в вербальной модели можно было усмотреть аналогию колебаний колес самолета с танцем *шимми*, которая была поставлена и блестяще решена акад. М. Келдышем.

Еще большую роль вербальные модели сыграли в решении изобретательских задач. Алгоритм решения изобретательских задач успешно использует модели «*заранее предложенной подушки*», «*наоборот*», «*антивеса*», «*асимметрии*», «*копирования*», «*дробления*», «*матрешки*», «*обращения вреда в пользу*» и т.д.

Разумеется, что эти модели не приводят к обязательному однозначному решению, но направляют мышление в определенное русло, да еще в нескучной, живой форме.

Метод аналогий способствует определению *общего*, поиску *общих закономерностей*.

Вербальное мышление – мышление, оперирующее уже отвлеченными знаковыми структурами. Часто оно служит соединительным мостом между гипотезой и разработкой более конкретных видов моделей. Отточенная до логической безупречности вербальная модель может стать готовым *алгоритмом* решения определенной задачи.

На рис. 5.15 представлена блок-схема программ исследования технологических процессов, разработанных на кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА. Анализируя схему, не трудно усмотреть, что основана она на вербальной модели последовательности действий, но уже представляет собой алгоритм для разработки конкретных программ исследования тех или иных технологических процессов на ЭВМ. Если вербальная модель не может впоследствии быть представленной в качестве того или иного алгоритма, то это приводит чаще всего к забалтыванию задачи или, как говорят, к *вербализму*.

Вербализм возникает при высоком речевом развитии автора, хорошей памяти, недостаточности развития восприятия и мышления.

Вербализм опасен для развития мышления своей односторонностью, и может быть устранен путем совершенствования образного мышления.

5.5. Математическое моделирование

5.5.1. Математические модели, построенные на основе алгебраических уравнений и их систем

К этому типу чаще всего относят достаточно сильно идеализированные статические процессы. Примером может служить модель, описывающая влияние ряда параметров на тяговое сопротивление плуга, построенная В.П. Горячкиным. Ранее было отмечено, что первоначальной гипотезой решения задачи служила аналогия с процессом резания металла, но экспериментальные данные ей противоречили. В результате сравнения процессов резания металлов и вспашки В.П. Горячкин выдвинул новую гипотезу, где тяговое сопротивление плуга предложено представить в виде трехчлена (4.2);

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

где P_1 – усилие, необходимое для перемещения (перетаскивания плуга);

P_2 – усилие, необходимое для крошения почвы;

P_3 – усилие, необходимое для отбрасывания пласта почвы в соседнюю борозду.

Дальнейшая работа над гипотезой обычно состоит в той или иной идеализации процесса с тем, чтобы используя законы фундаментальных наук (допустим физики, теоретической механики), построить математическую модель.

Усилие P_1 зависит от многих факторов. Прежде всего это трение рабочих органов о почву, усилие на перекачивание опорных колес с учетом образования колеи. Определить силу трения очень сложно ввиду того, что давление пласта на элементы лемешно-отвальной поверхности различно, оно изменяется не только пространственно, но и во времени и т.д. Изученность этих процессов в то время была низкой.

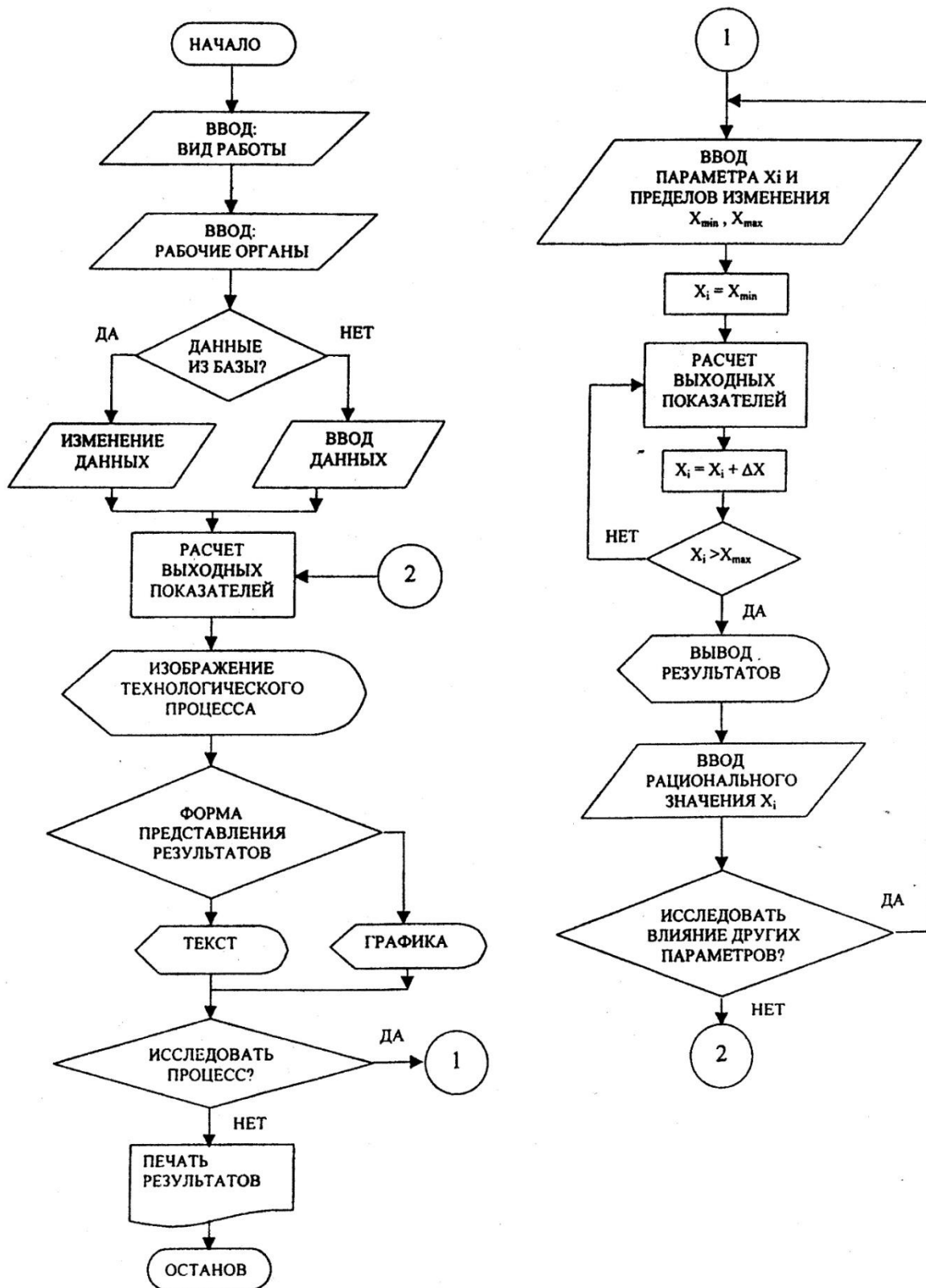


Рис. 5.15. Блок-схема программ исследования технологических процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами

В.П. Горячкин предложил учесть лишь главное обстоятельство, известное из курса физики: чем тяжелее тело, тем больше сила трения.

$$P_1 = f \cdot G,$$

где f – коэффициент трения;

G – сила веса.

Но поскольку сила P_1 затрачивается еще и на перекачивание колеса, то под коэффициентом f стали понимать не *коэффициент трения*, а *коэффициент перекачивания плуга*.

Вторую составляющую P_2 В.П. Горячкин выразил по аналогии с разрушением образцов в курсе «Сопротивление материалов», как

$$P_2 = k \cdot a \cdot b,$$

где k – коэффициент крошения почвы.

Третья составляющая, P_3 найдена с использованием простых закономерностей механики.

Кинетическая энергия отбрасываемого пласта равна:

$$W = \frac{mV_1^2}{2},$$

где m – масса отбрасываемой почвы;

V_1 – скорость отбрасывания пласта.

Скорость отбрасывания V_1 не равна скорости движения пахотного агрегата V , но пропорциональна ей, т.е.

$$V_1 = \varepsilon_1 \cdot V.$$

Масса почвы, отбрасываемая в единицу времени равна:

$$m = \rho \cdot a \cdot b \cdot V,$$

где ρ – плотность почвы.

В таком случае

$$W = \rho \frac{(\varepsilon_1)^2}{2} abV^3, \text{ или } W = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot V^3, \text{ если обозначить } \varepsilon = \rho \cdot \varepsilon_1^2/2,$$

где ε – так называемый скоростной коэффициент.

Но кинетическая энергия W может быть представлена как величина работы в единицу времени, т.е.

$$W = A = P_3 \cdot l_1 = P_3 \cdot V,$$

где l_1 – путь, пройденный плугом в единицу времени.

Если поставить в эту формулу значения W и выразить величину P_3 , то можно получить:

$$P_3 = \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot V^2.$$

В целом сопротивление плугу окажется равной:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = G \cdot f + k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot V^2. \quad (5.10)$$

Это соотношение представляет собой так называемую *рациональную формулу В.П. Горячкина*. В последующем эта формула была значительно усложнена с учетом многих факторов, таких, например, как изменение удельного сопротивления почвы, влияние формы лемешно-отвальной поверхности, случайного характера всех факторов, но это уже другие, более точные, но менее очевидные модели.

В ряде случаев математические модели могут быть представлены в

виде систем алгебраических уравнений. Примером таких моделей могут быть траектории движения рабочих органов (допустим, почвенных фрез, мотовила), записанные в параметрическом виде:

$$\left. \begin{aligned} X &= V_M t + R \cdot \cos \omega t \\ Y &= H + h - R \cdot \sin \omega t \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$

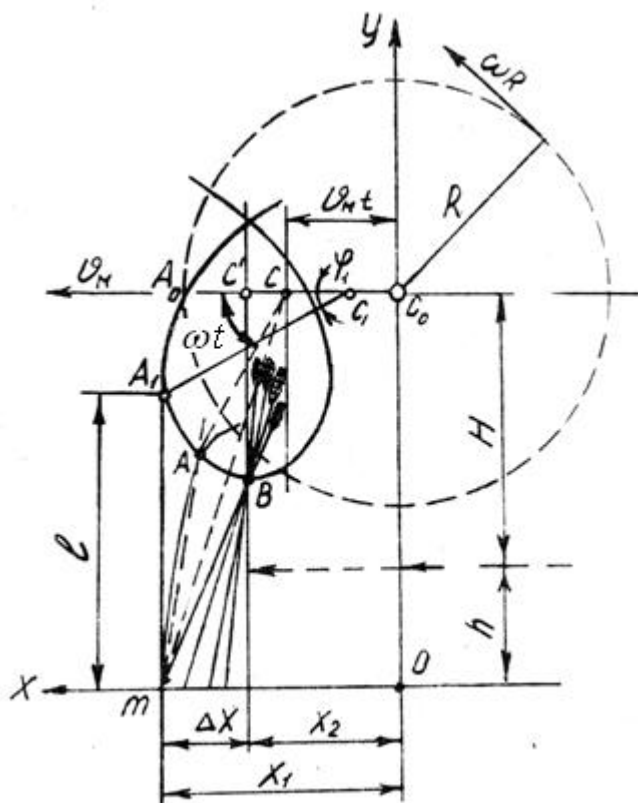


Рис. 5.16. Схема работы планки мотовила

Часто такими моделями пользуются при описании условий статической устойчивости, например, для определения фазы поворота триерного цилиндра, до которого семена могут находиться в ячейках.

$$\sum P_{\eta} = 0, \quad \sum P_{\xi} = 0,$$

где η и ξ – подвижные оси координат, направленные по касательной к поверхности ячейки и перпендикулярно ей.

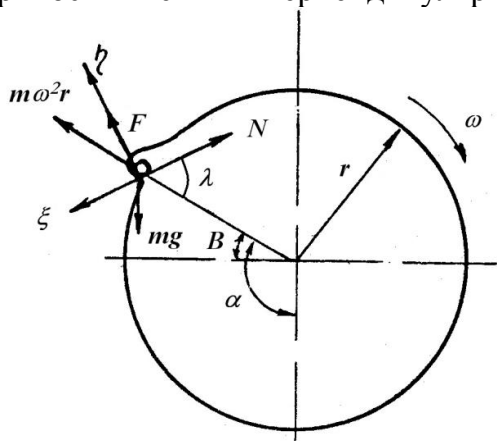


Рис. 5.17. Условия устойчивого положения семян в ячейках

5.5.2. Математические модели в виде дифференциальных уравнений, составленных с использованием принципа Даламбера

Математические модели, представленные обыкновенными дифференциальными уравнениями, нашли широкое применение для описания взаимодействия рабочих органов сельскохозяйственных машин с обрабатываемой средой, для анализа движения динамических систем, для различного рода возмущений, воздействующих на сельскохозяйственную технику, при исследовании различных физических явлений – гидравлических, электрических, электромагнитных и т.д.

Широкое использование обыкновенных дифференциальных уравнений объясняется рядом причин. Во-первых, теория дифференциальных уравнений достаточно хорошо разработана; во-вторых, модели, составленные из дифференциальных уравнений, оказались настолько удачными, что нашли применение не только в задачах механики, но и для описания различных процессов в биологии, агрономии, что очень значимо именно для земледельческой механики, имеющей непосредственную связь с живой природой.

Существует много методов составления моделей на основе дифференциальных уравнений. При исследовании сельскохозяйственной техники наиболее распространенным является использование принципа Ж. Даламбера, уравнений Ж. Лагранжа и П. Аппеля.

Принцип Ж. Даламбера состоит в том, что сила инерции движущейся массы (по модулю равная произведению массы на ее ускорение) уравновешивается суммой проекций всех действующих на эту частицу сил (или проекций сил) в направлении возможного перемещения, т.е. $m\ddot{x} = \sum P_x$.

В качестве примера может быть представлена задача описания движения материала по шероховатой поверхности, очень основательно изученная в свое время проф. П.М. Василенко [26].

При исследовании работы центробежных распределительных дисков машин для внесения удобрений необходимо определять скорость схода удобрений с диска, время пребывания их на диске в зависимости от размеров и режима работы распределительного аппарата.

Если рассмотреть движение удобрений в самом простом случае по радиальным лопастям плоского диска (рис.5.18), то силами, действующими на удобрения, являются центробежная сила $m\omega^2 x$, сила Кориолиса, действующая на лопасть $2m\omega\dot{x}$, силы трения (удобрений по лопасти $2f m\omega\dot{x}$ и по поверхности самого горизонтального диска fmg).

Предполагается, что коэффициент трения удобрений f по лопасти и диску одинаков.

Дифференциальное уравнение движения удобрений вдоль лопасти имеет вид:

$$m\ddot{x} = m\omega^2 x - 2f m\omega\dot{x} - fmg, \quad (5.12)$$

поскольку проекция силы Кориолиса на лопасть окажется равной нулю.

После сокращения правой и левой частей на m и переноса неизвестных в левую часть соотношение (5.20) сводится к неоднородному линейному дифференциальному уравнению:

$$\ddot{x} + 2f\omega \dot{x} - \omega^2 x = -fg.$$

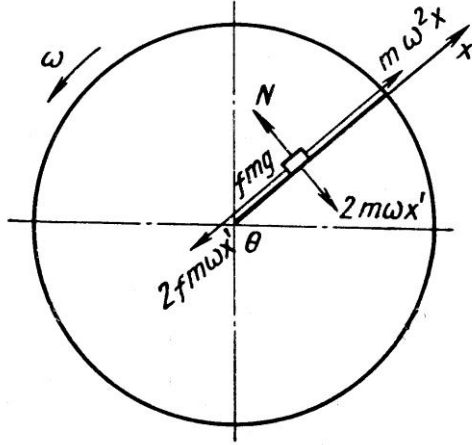


Рис. 5.18. Схема сил, действующих на частицу, движущуюся по радиальным лопастям плоского диска

Известно, что решение такого уравнения включает в себя общий и частный x_1 интегралы:

$$x = u + x_1.$$

Общий интеграл находят в зависимости от вида корней характеристического уравнения:

$$\lambda^2 + 2f\omega\lambda - \omega^2 = 0.$$

Корни этого квадратного уравнения оказываются действительными числами и отличаются друг от друга:

$$\lambda_{1,2} = -f\omega \pm \sqrt{f^2\omega^2 + \omega^2}.$$

В этом случае общее решение дифференциального уравнения имеет вид:

$$u = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t},$$

где c_1 и c_2 – постоянные интегрирования.

В случае, когда в правой части дифференциального уравнения находится постоянная величина, то частный интеграл повторяет ее вид, т.е. тоже является постоянной величиной, $x_1 = A$.

Если A подставить в дифференциальное уравнение, то окажется, что

$$0 + 2f \cdot \omega 0 - \omega^2 A = -fg.$$

Откуда $A = \frac{fg}{\omega^2}.$

Таким образом

$$x = u + x_1 = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} + \frac{fg}{\omega^2}. \quad (5.13)$$

Постоянные интегрирования c_1 и c_2 находят из начальных условий при $t = 0$, $x = r_0$; $\dot{x} = 0$,

где r_0 – место подачи удобрений на диск.

Из первого условия следует, что

$$r_0 = c_1 e^{\lambda_1 0} + c_2 e^{\lambda_2 0} + \frac{fg}{\omega^2}, \text{ или } c_1 + c_2 = r_0 - \frac{fg}{\omega^2}.$$

Чтобы воспользоваться вторым начальным условием, необходимо иметь уравнение, описывающее скорость относительного движения удобрений вдоль лопасти. Для получения такого уравнения можно продифференцировать соотношение, определяющее перемещение (5.13):

$$\dot{x} = c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} \quad (5.14)$$

Учитывая второе начальное условие (при $t = 0$, $\dot{x} = 0$), можно найти:

$$\dot{x} = c_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 0} + c_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 0} = 0$$

или

$$c_1 \lambda_1 + c_2 \lambda_2 = 0.$$

После решения системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} c_1 + c_2 &= r_0 - \frac{fg}{\omega^2} \\ \lambda_1 c_1 + \lambda_2 c_2 &= 0 \end{aligned} \right\},$$

нетрудно определить c_1 и c_2 :

$$c_1 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2}; \quad c_2 = -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2}.$$

После подстановки этих значений в (5.13) и (5.14) определяются уравнения, описывающие перемещения и скорости удобрений в произвольный момент времени:

$$x = \frac{r_0 \omega - fg}{\omega^2 (\lambda_1 - \lambda_2)} (\lambda_1 e^{\lambda_2 t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 t}) + \frac{fg}{\omega^2}, \quad (5.15)$$

$$\dot{x} = \frac{r_0 \omega^2 - fg}{\omega^2} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} (e^{\lambda_2 t} - e^{\lambda_1 t}). \quad (5.16)$$

В момент схода частиц с диска $x = R$ (где R – радиус диска), т.е.

$$R = \frac{r_0 \omega - fg}{\omega^2 (\lambda_1 - \lambda_2)} (\lambda_1 e^{\lambda_2 t} - \lambda_2 e^{\lambda_1 t}) + \frac{fg}{\omega^2}.$$

Решив это уравнение относительно t , находят время пребывания удобрений на диске, а после подстановки этого времени в уравнение (5.16) – радиальную скорость частиц при сходе с дисков. Начальная скорость схода частиц с дисков при радиальных лопастях будет равна:

$$V_{нач} = \sqrt{\omega^2 R^2 + V_x^2}. \quad (5.17)$$

Движение удобрений после схода с распределительных дисков также может быть описано дифференциальным уравнением, составленным с использованием принципа Ж. Даламбера (рис. 5.19):

$$m\ddot{x} = -R_x,$$

где R_x – сила сопротивления воздуха.

В диапазоне возможных скоростей полета сила R_x может быть найдена по формуле И. Ньютона:

$$R_x = \frac{k\gamma F}{g}(\dot{x})^2,$$

где k – коэффициент, зависящий от шероховатости тела;

$\rho = \gamma/g$ – плотность среды;

F – площадь Миделева сечения.

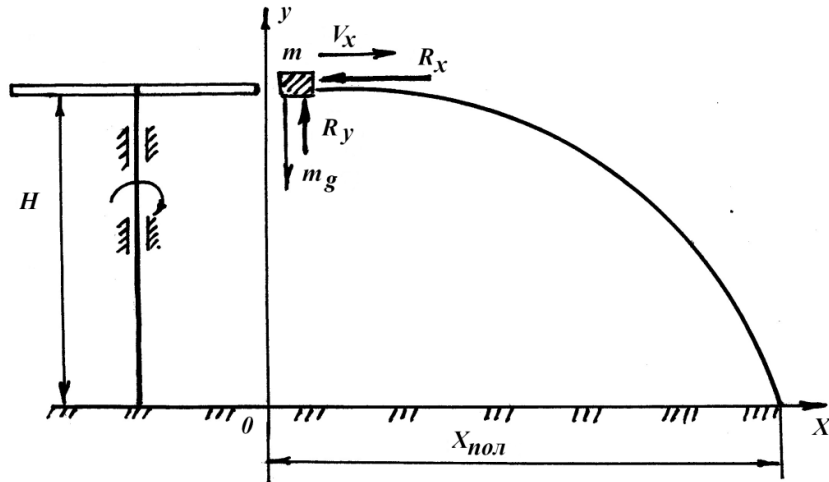


Рис. 5.19. Движение удобрений после схода с центробежного диска

После подстановки R_x в дифференциальное уравнение получаем:

$$\ddot{x} = -\frac{k\gamma F}{mg}(\dot{x})^2.$$

Дробь, стоящую перед $(\dot{x})^2$, в правой части называют *коэффициентом парусности*:

$$K_n = \frac{k\gamma F}{mg}.$$

С учетом этого уравнение приобретет вид:

$$\ddot{x} = -K_n \cdot \dot{x}^2.$$

Решение данного уравнения может быть осуществлено методом понижения порядка:

$$\frac{dV_x}{dt} = -K_n V_x^2;$$

или после разделения переменных:

$$\frac{dV_x}{V_x} = -K_n dx,$$

так как $V_x dt = dx$.

Интегрируя правую и левую части, получаем:

$$\ln V_x = \ln e^{-K_n x} + \ln c_1,$$

где c_1 – постоянная интегрирования.

После потенцирования получится, что

$$V_x = c_1 \cdot e^{-k_n x}.$$

Постоянную c_1 можно найти из начальных условий, поскольку при $x=0$, $V_x = V_{нач}$, тогда

$$V_x = V_{нач} \cdot e^{-K_n x}.$$

Для нахождения дальности полета требуется еще раз произвести понижение порядка, т.е.

$$\frac{dx}{dt} = V_{нач} \cdot e^{-K_n x},$$

откуда $e^{K_n x} \cdot dx = V_{нач} \cdot dt$.

После интегрирования правой и левой частей оказывается, что

$$\frac{1}{K_n} e^{K_n x} = V_{нач} \cdot t + c_2,$$

где c_2 – очередная постоянная интегрирования, которую можно найти из начальных условий – при $t=0$ перемещение $x=0$:

$$\frac{1}{K_n} e^{K_n \cdot 0} = V_{нач} \cdot 0 + c_1 \quad \text{или} \quad c_1 = \frac{1}{K_n}.$$

В этом случае

$$\frac{1}{K_n} e^{K_n X} = V_{нач} t + \frac{1}{K_n}.$$

После умножения всех слагаемых правой и левой частей данного уравнения на K_n и логарифмирования оказывается, что

$$K_n x = \ln(V_{нач} \cdot t \cdot K_n + 1).$$

При определении времени падения частиц с высоты H до поверхности почвы сопротивление среды обычно не учитывают, так как скорость падения относительно мала.

В таком случае, поскольку $H = \frac{gt^2}{2}$, то $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$.

Попытки найти это время с учетом сопротивления среды показали, что уточнение оказывается незначительным.

С учетом этого дальность полета частиц может быть определена:

$$x_{пол} = \frac{\ln\left(V_{нач} \sqrt{\frac{2H}{g}} K_n + 1\right)}{K_n}. \quad (5.18)$$

Уравнения (5.15), (5.16) и (5.18), представляющие собой основные технологические характеристики процесса, введены в компьютерную программу, позволяющую провести вычислительный эксперимент при анализе зависимости дальности полета, а, следовательно, и ширины захвата машины от таких параметров, как частота вращения дисков, размер дисков, места подачи удобрений на диск. Поскольку исходная модель, введенная в компьютер, была не-

сколько усложнена с учетом возможностей изменения углов наклонов лопастей и анализа конусных дисков, то дополнительно появилась возможность провести вычислительный эксперимент и для этих параметров. Анализ результатов вычислительного эксперимента показывает, в частности, что для обеспечения большой ширины захвата необходимо использовать конусный диск с углом бросания $10 \dots 15^\circ$ и вносить гранулированные удобрения.

5.5.3. Математические модели, основанные на использовании уравнений Ж.Лагранжа

Уравнения Ж. Лагранжа, основанные на общем уравнении динамики механических систем, представляют собой наиболее обоснованный подход к образованию моделей.

Идея, лежащая в основе общего уравнения, состоит из использования принципа Ж. Даламбера, позволяющего записывать динамические уравнения в виде уравнений равновесия с добавлением к *действующим активным силам сил инерции*.

Но если такая система сил уравновешена, то к ней применим принцип возможных перемещений Лагранжа.

Последовательное применение этих принципов к движущейся механической системе позволяет сформулировать *принцип Даламбера-Лагранжа*: если к движущейся механической системе, на которую наложены голономные связи, условно приложить силы инерции всех ее точек, то в каждый момент времени сумма элементарных работ активных сил и сил инерции равна нулю на любом возможном перемещении системы, т.е.

$$Q_i + R_i - m_i \ddot{q}_i = 0, \quad (5.19)$$

где Q_i , R_i – соответственно равнодействующие всех активных сил и реакций связей, приложенных к той или иной точке M_i ;

$m_i \ddot{q}_i$ – сила инерции точки M_i массой m_i в направлении q_i ;

$i = (1 \dots n)$ – номер точки M в динамической системе.

Если мысленно зафиксировать время t , и дать системе виртуальное перемещение δr_i ($i = 1 \dots n$), перемножить на него каждое слагаемое уравнения (5.19) и сложить результат, то

$$\sum_{i=1}^n (Q_i - m_i \ddot{q}_i) \delta r_i + \sum_{i=1}^n R_i \delta r_i = 0. \quad (5.20)$$

Под связями механической системы понимают ограничения, стесняющие движение тел. Обычно это шарнирные опоры, опорные поверхности, жесткие или упругие заделки стержней и балок и т.п.

В общем случае уравнение связи, налагаемой на систему точек, записывается в виде:

$$f(x_1 y_1 z_1 \dots x_n y_n z_n; x'_1 y'_1 \dots x'_n y'_n z'_n; t) = 0.$$

В зависимости от вида данной функции связи делятся так:

- геометрические и дифференциальные;
- стационарные и нестационарные;
- удерживающие и неудерживающие.

К *геометрическим* относятся связи, в уравнения которых входят только координаты точек системы, и, может быть, время. Например, в случае математического маятника с подвесом в начале координат (рис. 5.20а) уравнение связи имеет вид:

$$x_M^2 + y_M^2 = l^2 \text{ или } x_M^2 + y_M^2 - l^2 = 0 .$$

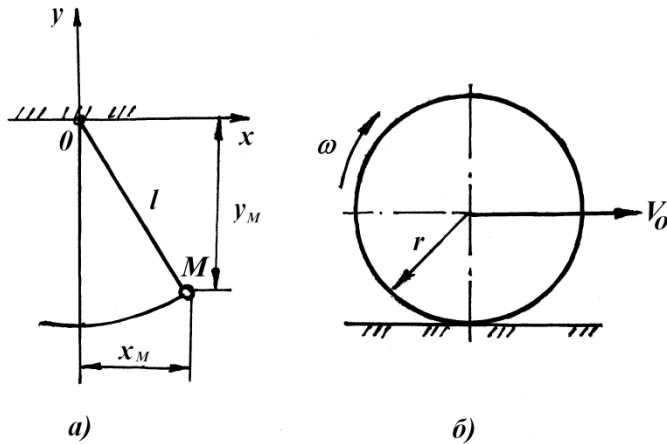


Рис. 5.20. Виды связей динамических систем: а – геометрические, б – дифференциальные

Дифференциальными называются связи, уравнения которых, кроме координат точек системы, содержат и первые производные от этих координат по времени и, может быть, время. Примером дифференциальной связи может быть ограничение, накладываемое на колесо, катящееся без скольжения по неподвижной поверхности (рис. 5.20б).

В этом случае скорость центра колеса и его угловая скорость связаны между собой:

$$V_0 = \omega \cdot r, \text{ или } V_0 - \omega \cdot r = 0 .$$

К *голономным* относятся все геометрические связи, а также те из дифференциальных, которые путем интегрирования могут быть сведены к геометрическим.

Рассмотренная выше дифференциальная связь, наложенная на колесо, является голономной, так как ее уравнение можно проинтегрировать и свести к геометрической.

Действительно, $V_0 = \omega \cdot r$, т.е. $dx_0 = r \cdot d\varphi$,

и $\int_0^{x_0} dx_0 = \int_0^{\varphi} r d\varphi$, откуда $x_0 = r \cdot \varphi + c$, где c – постоянная интегрирования.

Виртуальные перемещения – это воображаемые бесконечно малые перемещения системы из одного ее положения в другое, допускаемое связями в тот же момент времени без освобождения от связей.

Виртуальным перемещением $\delta \tilde{r}$ соответствуют изменения координат и обозначаются δx , δy , δz , в отличие от обозначения дифференциалов dx , dy и dz .

Дифференциалы представляют собой тоже бесконечно малые изменения координат, но за определенный, пусть малый промежуток времени dt , под действием приложенных к системе сил.

Операции дифференцирования и варьирования являются независимыми одна за другой, поэтому имеет место равенство:

$$\delta(df) = d(\delta f),$$

где f – какая-либо непрерывная функция координат, скоростей и времени.

Изменения функции f от вариаций координат, т.е. $\delta f(x, y, z, t)$ называется *вариацией* функции f .

Если сумма элементарных работ на всех виртуальных перемещениях системы равна нулю, т.е. если

$$\sum_{i=1}^n R_i \delta r_i = 0,$$

или то же самое в проекциях на оси координат

$$\sum_{i=1}^n (R_{ix} \delta x_i + R_{iy} \delta y_i + R_{iz} \delta z_i) = 0,$$

то связи называют *идеальными*.

Идеальными связями будут, например, абсолютно гладкие (без трения) опорные поверхности, нерастяжимые, несжимаемые и негибкие стержни и т.п., входящие в состав основных допущений в задачах, представляющих собой первое приближение к действительности.

Независимые или обобщенные координаты. Если система состоит из N точек, то ее пространственное положение может быть описано $3N$ координатами (x, y, z) . При наличии S голономных связей, ограничивающих перемещения, положения точек описывают через остальные, *независимые координаты*.

Часто вместо обычных, декартовых координат выбирают другие, связанные с ними величины, иногда другой природы и размерности.

Эти независимые величины называют *обобщенными координатами*, например $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, где $n = 3N - S$, причем n называют *числом степеней свободы*.

Пусть, например, исследуется работа кривошипно-шатунного механизма (рис. 5.21)

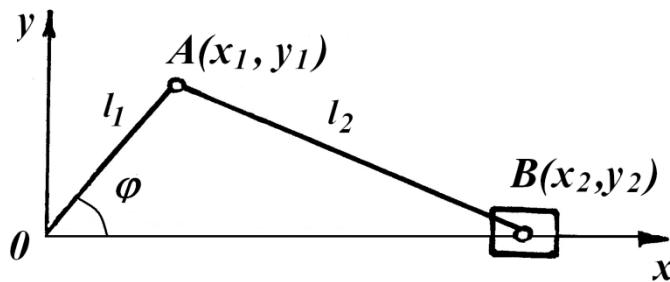


Рис. 5.21. Схема к выбору обобщенной координаты кривошипно-шатунного механизма

Положение точек O, A и B определяется шестью координатами: $x_0 y_0$; $x_1 y_1$; $x_2 y_2$.

Но на систему наложено пять связей, уравнения которых имеют вид:

$$x_0=0; y_0=0; x_1^2 + y_1^2 = l_1^2; (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = l_2^2; y_2=0.$$

Независимой остается лишь одна из шести координат. За обобщенную координату можно принять любую из трех координат x_1 ; y_1 ; x_2 , y_2 , но удобнее взять угол поворота кривошипа φ , так как через него легко выразить все остальные координаты.

В современной практике моделирования [17] в качестве обобщенных координат рекомендуются величины, производные по времени, от которых представляют фазовые координаты типа потока (скорости, расходы, температуры, токи).

Производные от обобщенных координат q_i называют *обобщенными скоростями* \dot{q}_i . В механических системах обобщенными могут быть линейные или угловые скорости.

Одновременное задание всех координат и скоростей полностью определяет состояние системы и позволяет в принципе ее дальнейшее движение. С математической точки зрения это значит, что заданием всех координат q_i , и скоростей \dot{q}_i в некоторый момент времени однозначно определяется также и значение ускорений \ddot{q}_i в этот момент.

Обобщенные силы. Каждой обобщенной координате q_i соответствует своя обобщенная сила Q_i .

Работу всех обобщенных сил на возможных перемещениях системы (виртуальную работу) можно вычислить по формуле:

$$\delta A = \sum_{i=1}^n \delta A_i = \sum Q_i \delta q_i, \quad (5.21)$$

где δq_i – вариация i -той обобщенной координаты;

δA_i – работа i -й обобщенной силы на возможном перемещении.

Из этой формулы следует, что *обобщенные силы представляют собой коэффициенты при вариациях обобщенных координат в выражении для виртуальной работы.*

Так как вариации обобщенных координат δq_i независимы, то вычисляя работу всех приложенных к системе сил на одном из возможных перемещений δq_i , а все остальные вариации в формуле (5.21) полагая равными нулю, легко определить каждую обобщенную силу Q_i в отдельности.

Из этой же формулы получают размерность обобщенной силы $[Q]=[A]/[q]$. Так, если обобщенная координата имеет размерность длины, то обобщенная сила имеет размерность силы (H), если же обобщенной координатой является угол, то обобщенная сила имеет размерность момента ($H \cdot m$).

В гидравлических, тепловых или электрических системах размерность обобщенных сил может быть иной, связанной с физической размерностью гидравлических или тепловых потоков, электромагнитных моментов и др. Обобщенные силы часто подразделяют на *произвольные (внешние, активные)*, *потенциальные (консервативные)* и *диссипативные (рассеивающие)*. Такая классификация обычно связана с выделением из моделируе-

мого технического объекта *типовых элементов*. К ним относят завершённые в конструктивном отношении узлы, предназначенные для выполнения определенных функций и обладающие своеобразными динамическими свойствами. Примерами таких элементов являются *инерционные* (обычно сосредоточенные массы, обладающие свойством накапливать кинетическую энергию); *упругие* (способные накапливать потенциальную энергию); *диссипативные* (отображающие свойства диссипации (рассеяния) энергии конструктивными элементами технического объекта, обусловленные силами внутреннего трения); *фрикционные* (отражающие свойства фрикционных механизмов); *трансформаторные* (отображающие безинерционные преобразования параметров потока энергии) и др.

В настоящее время создают библиотеку математических моделей функционально законченных элементов, позволяющую построить общую модель технического объекта с учетом его структурного состава [17].

Как уже было отмечено ранее, блестящим завершением поиска наиболее удачного описания динамики механических систем с помощью дифференциальных уравнений явились труды Жозефа Луи Лагранжа (1736-1813 гг.), и особенно его «Аналитическая механика», опубликованная в 1788 г.

Особое значение при моделировании сложных технических систем приобрели уравнения Ж. Лагранжа второго рода. Их в настоящее время используют при построении моделей не только механических систем, но и объектов любой физической природы, если они рассматриваются как системы с сосредоточенными параметрами. При этом никаких ограничений на структуру и физические свойства объекта не накладываются.

Уравнения Ж. Лагранжа второго рода для системы с голономными связями имеют вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i, \quad i = 1 \dots n, \quad (5.22)$$

где T - кинетическая энергия системы;

q_i - обобщенные координаты;

\dot{q}_i - обобщенная скорость;

Q_i - обобщенная сила;

n - число степеней свободы системы.

Вывод этого уравнения не столь уже сложен, но выходит за рамки данного учебного пособия, тем более, что он приводится практически во всех учебниках и учебных пособиях по теоретической механике [27], [29], [30].

Если среди обобщенных сил имеют место потенциальные и диссипативные, то уравнение (5.22) может принять форму:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} = Q_i \quad (5.23)$$

где Π - потенциальная энергия системы;

Φ - диссипативная функция Рэлея.

Обобщенная сила Q_i , фигурирующая в этом уравнении, определяется с учетом работы источников всех внешних воздействий, а также некоторых внутренних источников, которые не могут быть отнесены к упругим и диссипативным элементам.

Очень часто уравнения Ж. Лагранжа используют при изучении колебаний машин и механизмов. Если при этом исследователя интересуют параметры свободных колебаний (т.е. $Q_i = 0$), то уравнение принимают в виде (5.22), без учета диссипативной функции, а для изучения затухающих колебаний необходимо полное уравнение (5.23).

В качестве примера можно рассмотреть свободные колебания автомобильного разбрасывателя удобрений (рис. 5.22).

Обычно принимается, что переднюю и заднюю подвески можно представить в виде двух пружин; при этом раму и кузов машины вместе с другими, жестко связанными с ними телами схематически представляют в виде тела, обладающего конечным моментом инерции.

Если обозначить жесткости пружин как C_1 и C_2 , через m и ρ – массу и радиус инерции тела, а в качестве обобщенных координат принять вертикальное перемещение центра тяжести y и угол поворота связанной с телом жесткой балки φ , тогда кинетическую и потенциальную энергии можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{m}{2}(\dot{y}^2 + \rho^2 \dot{\varphi}^2) \\ \Pi &= \frac{C_1(y + l_1\varphi)^2}{2} + \frac{C_2(y - l_2\varphi)^2}{2} \end{aligned} \right\}.$$

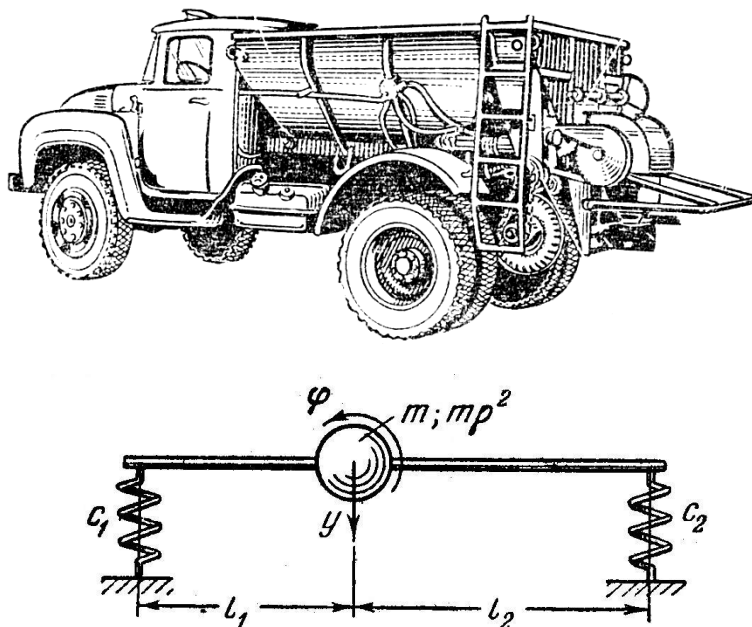


Рис. 5.22. Схема к исследованию свободных колебаний машины для внесения удобрений

Производные, необходимые для подстановки в уравнение Ж.Лагранжа,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = 0$$

окажутся следующими:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} &= 2 \frac{m}{2} \dot{y} = m\dot{y}; & \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= 2 \frac{m}{2} \rho^2 \dot{\varphi} = m\rho^2 \dot{\varphi}; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) &= \frac{d}{dt} (m\dot{y}) = m\ddot{y}; & \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) &= m\rho^2 \ddot{\varphi}; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{c_1(y^2 + 2l_1\varphi \cdot y + (l_1\varphi)^2)}{2} + \frac{c_2(y^2 - 2l_2\varphi \cdot y + (l_2\varphi)^2)}{2} \right] = \\ &= \frac{2c_1y + 2l_1\varphi \cdot c_1 + 0}{2} + \frac{2c_2y - 2l_2\varphi \cdot c_2 + 0}{2} = \\ &= c_1y + l_1c_1\varphi + c_2y - l_2c_2\varphi = (c_1 + c_2)y + (c_1l_1 - c_2l_2)\varphi. \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} &= (c_1l_1y + c_1l_1^2\varphi) + (-c_2l_2y + c_2l_2^2\varphi) = (c_1l_1^2 + c_2l_1^2)\varphi + (c_1l_1 - c_2l_2)y. \end{aligned}$$

После подстановки производных в уравнение получится:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{y} + (C_1 + C_2)y + (C_1l_1 - C_2l_2)\varphi &= 0 \\ m\rho^2\ddot{\varphi} + (C_1l_1^2 + C_2l_2^2)\varphi + (C_1l_1 - C_2l_2)y &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

Если предположить, что параметры рассматриваемой системы удовлетворяют двум простым (и реально осуществимым) соотношениям:

$$C_1l_1 = C_2l_2, \quad \rho^2 = l_1 \cdot l_2,$$

тогда систему дифференциальных уравнений можно упростить:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{y} + (C_1 + C_2)y &= 0 \\ m\ddot{\varphi} + (C_1 + C_2)\varphi &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

Положив $(C_1 + C_2) / m = k^2$, получим:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} + k^2 y &= 0 \\ \ddot{\varphi} + k^2 \varphi &= 0 \end{aligned} \right\},$$

т.е. линейные однородные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами.

Вид общего решения линейных дифференциальных уравнений, как известно, зависит от значений корней характеристических уравнений, которые в данном случае одинаковы:

$$\lambda^2 + k^2 = 0.$$

Поскольку корни этого уравнения – чисто мнимые числа: $\lambda_1 = k \cdot i$, $\lambda_2 = -k \cdot i$, то общим решением дифференциального уравнения для любой переменной, допустим x , будет

$$x = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt,$$

где в данном случае прописными буквами C_1 и C_2 обозначены постоянные интегрирования.

Для большего удобства анализа этого решения вводят обычно новые постоянные интегрирования A и α , предположив, что

$$C_1 = A \cdot \sin \alpha, \quad C_2 = A \cdot \cos \alpha.$$

Это можно сделать, так как из этих соотношений постоянные A и α определяются через C_1 и C_2 с помощью формул:

$$A = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{C_1}{C_2}.$$

Тогда

$$x = A \cos \alpha \sin kt + A \sin \alpha \cos kt, \text{ или } x = A \sin(kt + \alpha).$$

Используя этот прием для каждого уравнения системы, получаем:

$$\left. \begin{aligned} y &= A_1 \sin(kt + \alpha_1) \\ \varphi &= A_2 \sin(kt + \alpha_2) \end{aligned} \right\}. \quad (5.24)$$

Первое из колебаний представляет собой «подпрыгивание», не сопровождающееся поворотами рамы, а второе колебаний – «галопирование», при котором центр тяжести машины остается неподвижным, и происходят угловые колебания вокруг этой точки.

Постоянные A и α (или C_1 и C_2) определяются заданием начальных положений и скоростей движения точки. Коэффициенты A_1 и A_2 определяют амплитуду соответствующих колебаний, α_1 и α_2 – начальные фазы, а k – угловую частоту.

В приведенном примере рассмотрен простейший случай колебаний – собственные колебания материальной точки (правая часть уравнения Лагранжа равная нулю). В случае, когда в правой части уравнения помещают обобщенную силу вязкого трения (например, в случае, когда хотят учесть влияние эластичных шин), то в результате решения приходят к *затухающим колебаниям*, а при воздействии внешних *возмущающих* сил (например, от воздействия неровностей поля) – к вынужденным колебаниям.

Вполне конкретные примеры использования уравнения Лагранжа второго рода есть в работах В.А. и Л.А. Гоберманов [13] (пятимассовая система планетарного редуктора), В.А. Сысуева и др. [29] (движение рулона переменной массы в питателе-измельчителе раздатчика грубых кормов), В.П. Тарасика [17] (построение модели анализа динамических нагрузок в трансмиссии автомобиля при включении сцепления) и др. Примеры таких моделей применительно к исследованию почвообрабатывающих, посевных и посадочных, уборочных и других машин можно найти в работах А.Б. Лурье [23], [24].

Одной из наиболее ранних работ в исследовании динамики рабочих органов сельскохозяйственных машин стала модель вынужденных колебаний сошника зерновой сеялки [23].

Расчетная схема модели представлена на рис. 5.23.

В качестве обобщенной координаты принят угол ψ наклона поводка сошников к раме сеялки.

Под воздействием возмущающей силы со стороны поверхности почвы сошник совершает колебания около горизонтальной оси.

Силы, действующие на сошник, в общем случае зависят от его положения, скорости движения и времени:

$$\begin{aligned} R_x &= f_1(\psi, \dot{\psi}, t), \\ R_z &= f_2(\psi, \dot{\psi}, t). \end{aligned}$$

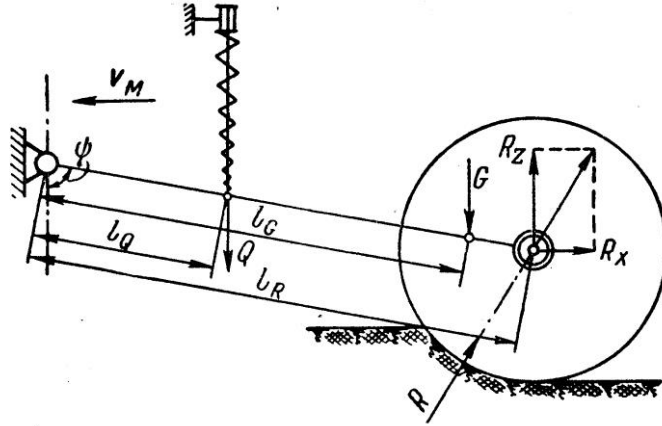


Рис. 5.23. Схема к выводу уравнения малых колебаний сошника

После проведения неполной линеаризации этих сил по формуле Тейлора

$$\begin{aligned} \Delta R_x &= \left| \frac{\partial f_1}{\partial \psi} \right|_0 \Delta \psi + \left| \frac{\partial f_1}{\partial \dot{\psi}} \right| \Delta \dot{\psi} + f_1(t), \\ \Delta R_y &= \left| \frac{\partial f_2}{\partial \psi} \right|_0 \Delta \psi + \left| \frac{\partial f_2}{\partial \dot{\psi}} \right| \Delta \dot{\psi} + f_2(t) \end{aligned}$$

получено уравнение малых колебаний сошника в виде:

$$T_1^2 \Delta \ddot{\psi} + T_2 \Delta \dot{\psi} + \Delta \psi = k \cdot f(t), \quad (5.25)$$

где коэффициенты T_1 и T_2 характеризуют инерционные и демпфирующие свойства сошника при движении его в почве и имеют размерность времени, масштабный коэффициент k (коэффициент усиления) имеет размерность 1/кг, $f(t)$ – функция внешних возмущений.

Линеаризацию функции внешних возмущений осуществлять нельзя, так как поверхность поля не может быть представлена в виде непрерывной, гладкой, дифференцируемой функции.

Полный вывод этого уравнения с использованием различных методов приведен в работах [23], [24], [31].

Существенной особенностью моделей, основанных на использовании уравнения Ж. Лагранжа, является то, что оно приводит обычно к системе дифференциальных уравнений, содержащих столько уравнений, сколько независимых координат учитывает модель. Если потребуется описать движение машины в трехмерном пространстве, т.е. помимо курсового движения учесть еще возможность поперечного крена и поворота управляемых колес в горизонтальной плоскости, то система будет содержать шесть урав-

нений. В случае исследования более сложных механических систем, допустим «трактор+навесная машина» и «трактор+сцепка+с.-х. машина», число дифференциальных уравнений в системе может увеличиться до нескольких десятков.

Решение систем таких уравнений приводит к значительным трудностям, и в свое время потребовало создания так называемого *операционного исчисления*.

Основы операционного исчисления заложены английским физиком Оливером Хевисайдом (1850...1925 гг.), который при разработке вопросов теоретической электротехники ввел основные правила действий с оператором $\frac{d}{dt} = P$ и функциями этого оператора.

В этой системе действий дифференцирование функции $x = x(t)$ рассматривается как умножение оператора P на функцию $X = X(P)$ этого оператора.

Иными словами $\frac{dx}{dt} \leftarrow PX(P)$; $\frac{d^2x}{dt^2} \leftarrow P^2X(P)$; ... $\frac{d^nx}{dt^n} \leftarrow P^nX(P)$,

т.е. операции дифференцирования он заменил на умножение оператора P в соответствующей степени на некоторую функцию этого оператора $X(P)$.

Интегрирование рассматривалось как деление функции $X(P)$ на этот оператор P :

$$\int_0^t x dt \leftarrow \frac{X(P)}{P}; \quad \int_0^t dt \int_0^t f(t) dt \leftarrow \frac{X(P)}{P^2} \text{ и т.д.}$$

Самое важное в этом методе состоит в том, что его использование позволило линейные дифференциальные уравнения свести к простым алгебраическим уравнениям относительно функции $X(P)$. Установив для наиболее простых функций связь между $f(x)$ и $X(P)$, О. Хевисайд успешно использовал такой метод при решении инженерных задач. На замечание математиков о бездоказательности такого приема О.Хевисайд якобы возражал, что не должен отказываться от обеда, если не знает поварского дела. Так или иначе, его расчеты соответствовали действительности, и он свой метод использовал.

Только через год после смерти О. Хевисайда американский инженер Д. Карсон установил связь между операционным исчислением и интегральным преобразованием Лапласа. Соотношение между функцией-оригиналом $f(t)$ и ее изображением $F(P)$ по Лапласу, как известно, определяется интегральным уравнением:

$$F(P) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-Pt} dt , \quad (5.26)$$

где P – некоторая в общем случае комплексная переменная $P > 0$,

$$P = \alpha + i\omega, \quad i = \sqrt{-1}.$$

Символически преобразование Лапласа записывают так: $L[f(t)] = F(P)$. Обратную зависимость между функциями изображения и

оригинала нашел английский математик Т. Бромвич в виде контурного интеграла:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\alpha-i\infty}^{\alpha+i\infty} e^{Pt} \frac{F(P)}{P} dP . \quad (5.27)$$

Запись соотношений между функциями-оригиналами и их изображениями можно встретить в виде: $f(t) \bullet^{\circ} F(P)$; $f(t) \overset{\circ}{\leftarrow} F(P)$; $f(t) \overset{\circ}{\leftarrow} F(P)$ для случая, когда $f(t)$ изображается как $F(P)$. Если необходима обратная зависимость, то $F(P) \bullet^{\circ} f(t)$, т.е. функция $F(P)$ изображает функцию $f(t)$.

После подстановки в уравнение (5.35) в качестве $f(t)$ простых функций, допустим $f(t)=1$; $f(t)=t$; $f(t)=e^{-\alpha t}$; $f(t)=\sin \omega t$; $f(t)=\cos \omega t$, нетрудно

получить $1 \leftarrow \frac{1}{P}$; $t \leftarrow \frac{1}{P^2}$; $e^{-\alpha t} \leftarrow \frac{1}{P+\alpha}$; $\sin \omega t \leftarrow \frac{\omega}{P^2 + \omega^2}$;

$$\cos \omega t \leftarrow \frac{P}{P^2 + \omega^2} .$$

В современной справочной литературе приводятся многочисленные прямые и обратные соотношения между функциями-оригиналами и их изображениями. Особого внимания требует нахождение изображений производных.

Допустим, что известно изображение функции $f(t) \leftarrow F(P)$. Требуется найти изображение производной $f'(t) \leftarrow ?$

В формулу интеграла Лапласа (5.26) подставим $f'(t)$ вместо $f(t)$ и найдем интеграл $\int_0^{\infty} f'(t) e^{-Pt} dt$.

Проще провести это интегрирование по частям, т.е.

$$\int_a^b u dV = [uV]_a^b - \int_a^b V du .$$

Пусть $u = e^{-Pt}$, а $dV = f'(t) dt$, тогда $du = e^{-Pt}(-P)dt$, а $V=f(t)$.

После подстановки этих значений получится:

$$\int_0^{\infty} f'(t) e^{-Pt} dt = e^{-Pt} \cdot f(t) \Big|_0^{\infty} - \int_0^{\infty} f(t) e^{-Pt} (-P) dt = P \cdot F(P) - f(0) .$$

Итак,

$$f'(t) \leftarrow P \cdot F(P) - f(0) ,$$

где $f(0)$ – значение функции $f(t)$ при начальных условиях.

Совершенно аналогично можно вывести:

$$f''(t) \leftarrow P^2 \cdot F(P) - P \cdot f(0) - f'(0) ,$$

$$f'''(t) \leftarrow P^3 \cdot F(P) - P^2 f(0) - P \cdot f'(0) - f''(0) .$$

Эти уравнения представляют собой так называемую *теорему изображений*, согласно которой операции дифференцирования оригинала соответствуют умножению изображения на P .

От уравнений, используемых О. Хевисайдом, эти соотношения отличаются только учетом начальных значений функций и их производных.

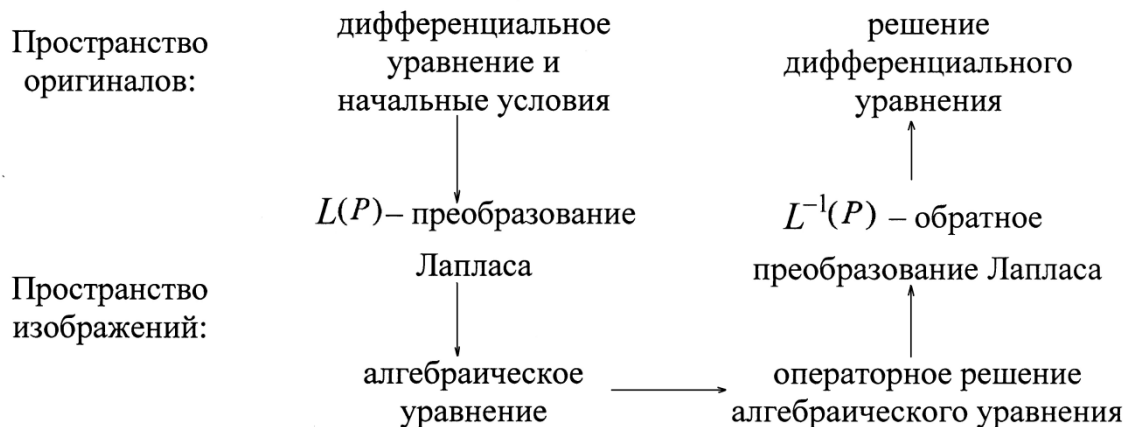
Изображение интеграла. Интегрирование оригинала от нуля до переменной точки t соответствует в пространстве изображений деление изображения на P :

$$\int_0^t f(t)dt \leftarrow \frac{F(P)}{P} dP.$$

Достаточно полная таблица оригиналов и изображений, позволяющая по заданному оригиналу найти изображение и наоборот, есть, в частности, в книге «Справочник по операционному исчислению» [32] или в соответствующих разделах математической литературы [33].

Решение дифференциальных уравнений операционным методом можно наглядно изобразить в виде схемы:

Схема



Пусть, например, требуется найти решение линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами:

$$y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_n y = f(t). \quad (5.28)$$

К такому виду, в частности, приводится в теории колебаний [34] общее дифференциальное уравнение вынужденных колебаний системы с учетом сил сопротивления. Примером такой модели при исследовании движения рабочих органов сельскохозяйственных машин является уравнение малых колебаний сошника сеялки [24], [31]:

$$T_1^2 \Delta \ddot{\psi} + T_2 \Delta \dot{\psi} + \Delta \psi = \kappa f(t).$$

При исследованиях динамики механических систем их модели часто представляют в виде, как говорят «черного ящика», преобразующего определенным образом входные воздействия $f(x_i)$ с выходными, искомыми параметрами y_i (рис. 5.24).

Помимо входных воздействий с вектором $F(x)$ на работу системы могут оказывать влияние вектор состояния элементов Z и вектор U управляющих воздействий со стороны оператора. С помощью такой схемы достигается предельное абстрагирование модели от реального объекта и сосредоточение внимания на связях воздействий и результатов работы.

Свойства самой системы A могут быть описаны, как об этом было отмечено ранее, решением системы дифференциальных уравнений, связывающих входные воздействия векторов $F(x)$, Z и U на выходные параметры Y , что, вообще говоря, представляет собой сложную задачу.

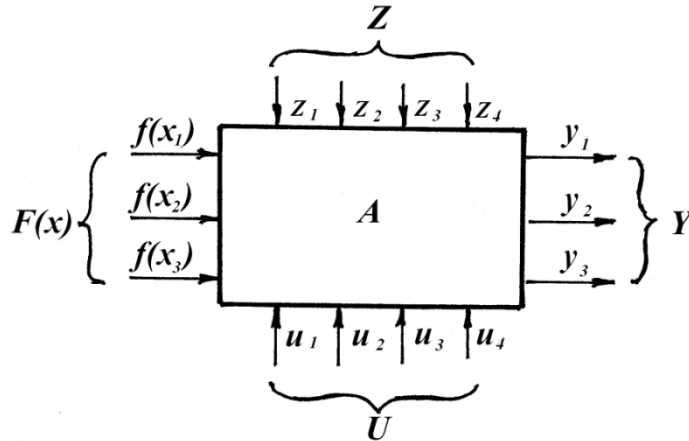


Рис. 5.24. Схема функционирования динамической системы

Гораздо проще связь входных и выходных параметров может быть установлена, если дифференциальные уравнения, связывающие эти параметры, представить в преобразованиях Лапласа.

В общем виде такая замена может быть представлена как

$$L_1(P) \cdot Y(P) = L_2(P) \cdot X(P),$$

где $L_1(P)$, $L_2(P)$ – преобразования Лапласа выходных и входных воздействий.

В этих терминах связь между входом и выходом, определяющая свойство системы A , правда в операторной форме, может быть установлена легко:

$$Y(P) = \frac{L_2(P)}{L_1(P)} X(P).$$

Отношение преобразований Лапласа выходного параметра к входному называется *передаточной функцией*, которую чаще всего обозначают как $W(P)$, т.е.

$$W(P) = \frac{L_2(P)}{L_1(P)} = \frac{Y(P)}{X(P)}.$$

Таким образом, передаточная функция определяет *операторную проводимость объекта* (системы).

Если обратиться к примеру с колебаниями сошников, то в терминах «входа» и «выхода» уравнение преобразуется к виду:

$$T_1^2 \ddot{y} - T_2 \dot{y} + y = kx,$$

где $y = \Delta\psi$; $x = f(t)$.

В преобразованиях Лапласа уравнение может быть представлено как

$$T_1^2 \cdot P^2 \cdot Y(P) + T_2 \cdot P \cdot Y(P) + Y(P) = kX(P) .$$

Передаточная функция этого динамического звена будет равна:

$$W(P) = \frac{k}{T_1^2 P^2 + T_2 P + 1} . \quad (5.29)$$

Свойства динамического звена могут в этом случае быть представлены в виде схемы:

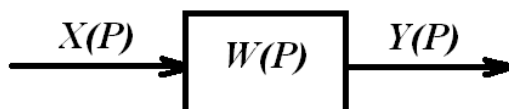


Рис.5.25. Схема функционирования динамического звена в комплексной области ($P = \alpha + i \cdot \omega$)

Свойства передаточной функции

Передаточные функции обладают рядом свойств, позволяющих существенно облегчить анализ сложных динамических систем.

Если система состоит из отдельных узлов и элементов с различными связями, то при определении передаточной функции всей системы возникает необходимость преобразования многозвенной системы с целью ее упрощения или замены одним сложным звеном. Такие преобразования выполняются обычно с помощью структурных схем.

Структурная схема динамической системы представляет собой графическое изображение системы в виде совокупности динамических звеньев с обозначением их передаточных функций и изображений входных и выходных переменных (рис. 5.26).

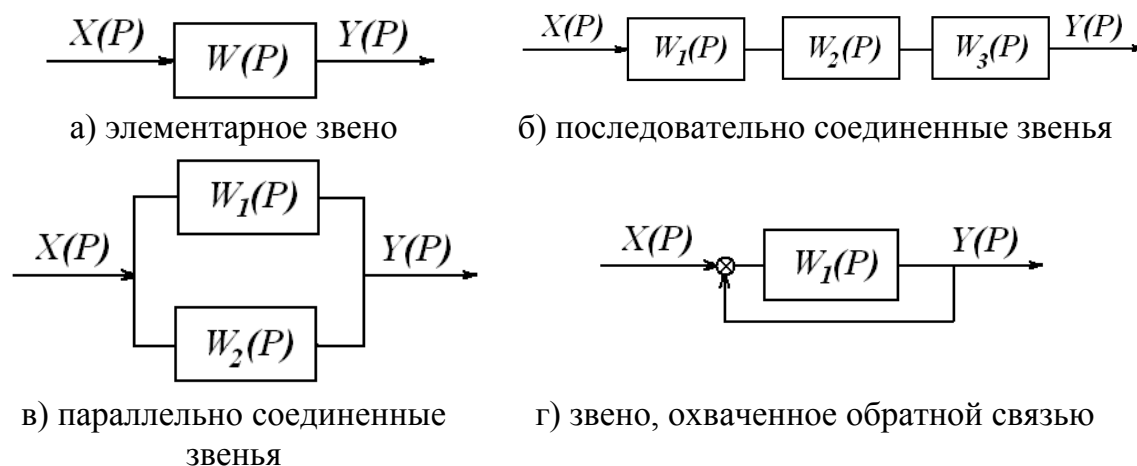


Рис. 5.26. Структурная схема возможного соединения элементарных динамических звеньев

Свойства передаточных функций можно сформулировать следующим образом.

1. Если динамическая система может быть представлена в виде последовательно соединенных звеньев, то передаточная функция системы равна произведению передаточных функций отдельных звеньев:

$$W(P) = W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot \dots \cdot W_n(P) = \prod_{i=1}^n W_i(P) .$$

2. При параллельном соединении звеньев их передаточные функции алгебраически складываются:

$$W(P) = W_1(P) + W_2(P) + \dots + W_n(P) = \sum_{i=1}^n W_i(P) .$$

3. При наличии обратной связи передаточную функцию системы находят по уравнению $W(P) = \frac{W_1(P)}{1 \pm W_1(P)}$, причем знак «+» используется

при отрицательной, а «-» – при положительной обратной связи.

Составление структурной схемы и определение общей передаточной функции позволяет не только упростить процесс решения систем дифференциальных уравнений, но и способствует получению оценок динамических свойств исследуемых объектов. Так, заменяя в выражении передаточной функции переменную P на $(i\omega)$, находят частотную характеристику системы.

Для примера с сошниковой группой это будет

$$W(i\omega) = \frac{k}{T_1^2(i\omega)^2 + T_2(i\omega) + 1} . \quad (5.30)$$

С математической точки зрения, частотная характеристика представляет собой комплексную функцию. Четные степени величины $(i\omega)$, содержащие $i^2 = -1$, $i^4 = 1$ и т.д. равны $\pm\omega$, а нечетные, содержащие мнимую единицу $i = \sqrt{-1}$, равны $\pm(i\omega)$, поэтому после разделения комплексной функции на действительную и мнимую части можно получить:

$$W(i\omega) = U(\omega) + iV(\omega) . \quad (5.31)$$

Так, если умножить и разделить правую часть уравнения (5.30) на $[(1 - T_1^2\omega^2) - iT_2\omega]$, можно получить:

$$W(i\omega) = \frac{k[(1 - T_1^2\omega^2) - iT_2\omega]}{[(1 - T_1^2\omega^2) + iT_2\omega] \cdot [(1 - T_1^2\omega^2) - iT_2\omega]} = \frac{k[(1 - T_1^2\omega^2) - iT_2\omega]}{(1 - T_1^2\omega^2)^2 + (T_2\omega)^2}$$

или

$$W(i\omega) = \frac{k(1 - T_1^2\omega^2)}{(1 - T_1^2\omega^2)^2 + (T_2\omega)^2} - i \frac{kT_2\omega}{(1 - T_1^2\omega^2)^2 + (T_2\omega)^2} .$$

В полученном выражении

$$U(\omega) = \frac{k(1 - T_1^2\omega^2)}{(1 - T_1^2\omega^2)^2 + (T_2\omega)^2}, \text{ а } V(\omega) = \frac{-kT_2\omega}{(1 - T_1^2\omega^2)^2 + (T_2\omega)^2};$$

Известно, что любое комплексное число может быть представлено в виде вектора в координатах $U(\omega)$ и $V(\omega)$.

Абсолютное значение или модуль $A(\omega)$ частотной характеристики определяется как геометрическая сумма $U(\omega)$ и $V(\omega)$, а угол $\varphi(\omega)$ наклона вектора к оси $U(\omega)$

$$\varphi(\omega) = \arctg \left[\frac{V(\omega)}{U(\omega)} \right].$$

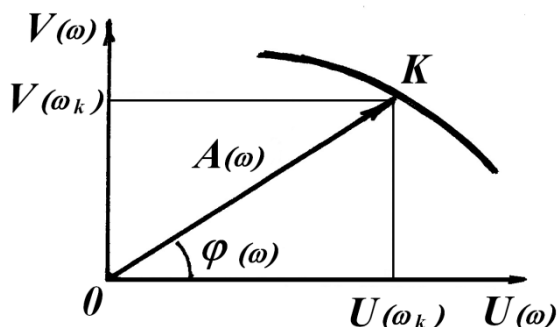


Рис. 5.27. Числовые характеристики частотной функции $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ при фиксированном значении ω

При изменении ω в широких пределах вектор $A(\omega)$ будет изменять величину и одновременно поворачиваться, изменяя наклон луча, соединяющего начало координат комплексной плоскости и данную точку кривой, описываемой концом вектора $A(\omega)$.

Такая кривая представляет собой *амплитудно-фазовую частотную характеристику* системы.

С точки зрения физики и механики, частотная характеристика отражает реакцию системы на внешние воздействия в виде *гармонических колебаний*.

Представим себе движение сошника сеялки по поверхности поля, имеющего неровности в виде, например, синусоиды (рис. 5.28а). Если амплитуду колебаний неровностей обозначить X , а колебаний Y , то их соотношение будет изменяться при различных скоростях V_M и соответствующих частот ω .

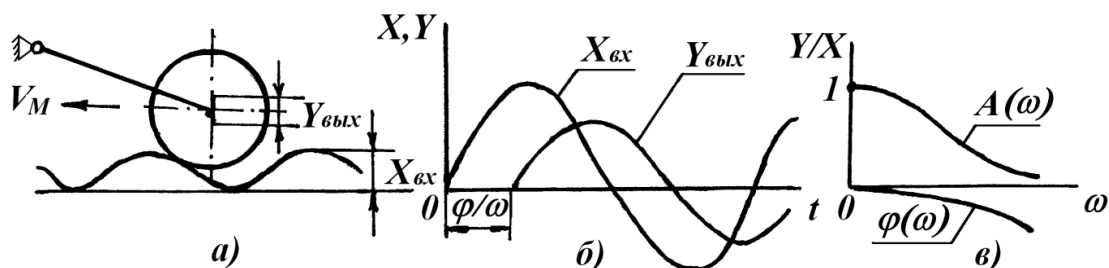


Рис.5.28. Схема, характеризующая реакцию динамической системы внешних воздействий в виде гармонических колебаний

Если скорость V_M ничтожно мала, то очевидно сошник повторит колебания профиля поверхности поля, т.е. совершит колебания с той же частотой ω и амплитудой $Y_{вых} = X_{ex}$.

В случае увеличения скорости сошник не будет успевать копировать

поверхность, и его движение будет представлять синусоиду той же частоты но с меньшей амплитудой и сдвинутой по фазе (рис.5.29б), а при некоторой скорости (V_M) (если продолжить мысленный эксперимент) перестанет реагировать на внешние возмущения (рис.5.29в) (известный афоризм шоферов «больше скорость – меньше ям»).

Сдвиг фаз φ в этом случае будет увеличиваться.

При анализе и синтезе динамических систем используются и операторы других видов, определяющие свойства этих систем при воздействиях различного типа.

Важным оператором динамической системы является *импульсная характеристика* $h(t)$, определяющая реакцию системы на так называемую *дельта-функцию* $\delta(t)$ (единичная импульсная функция), причем,

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \neq 0 \\ \infty & \text{при } t = 0 \end{cases}, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1.$$

Если единичный импульс подается в момент $t = t_0$ (рис.5.29), то его записывают в виде:

$$\delta(t - t_0) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \neq t_0 \\ \infty & \text{при } t = t_0 \end{cases}.$$

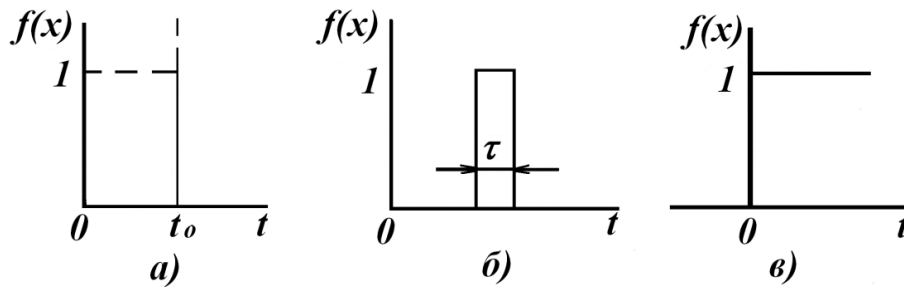


Рис. 5.29. Типовые входные воздействия

Эти выражения определяют математическую модель идеализированного импульса, длительность которого равна нулю, а уровень – бесконечности. При уровне, равном единице, импульсное воздействие конечной длительности τ будет иметь вид:

$$\delta_{\tau}(t - t_0) = \begin{cases} 0 & \text{при } (t_0 + \tau) \leq t < t_0 \\ 1 & \text{при } t_0 \leq t < (t_0 + \tau) \end{cases}; \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta_{\tau}(t - t_0) dt = \tau.$$

Зависимость между воздействием $f(t)$ и реакцией на него $y(t)$ может быть представлена интегральным уравнением:

$$y(t) = \int_0^t f(t - \tau) h(\tau) d\tau.$$

Между импульсной характеристикой $h(t)$ и передаточной функцией $W(P)$ существует связь, определяемая преобразованием Лапласа,

$$W(P) = L[h(t)] = \int_0^{\infty} h(t)e^{-Pt} dt .$$

С характеристикой $h(t)$ связана и *переходная характеристика* системы $Y_n(t)$, определяющая переходный процесс на выходе системы. Переходная характеристика является реакцией системы на воздействие $f(t) = 1(t)$ в виде скачка, равного по величине единице (рис.5.29в). Практически единственный скачок означает мгновенное и резкое изменение входного воздействия, причем, $\delta(t) = d[1(t)]/dt$.

Связь между импульсной и переходной характеристиками выражается равенством:

$$h(t) = d[y_n(t)]/dt.$$

Таким образом, для линейных динамических систем основными операторами, определяющими соответствующее преобразование входных воздействий, являются передаточные функции, частотные, импульсные и переходные характеристики. Они являются наиболее полными динамическими характеристиками системы, определяющими ее свойства в области комплексной переменной, частотной и временной областях.

Если обратить внимание на то, что в основе всех характеристик находятся дифференциальные уравнения движения тел, в свою очередь являющиеся тем или иным выражением законов физики, таких как законы сохранения массы и энергии, то становится, во всяком случае, объяснимым, что самые разнообразные процессы могут иметь совершенно схожие модели и их характеристики. Это дало возможность унифицировать отдельные системы по их динамическим свойствам и свести их к так называемым *типовым звеньям*.

Такой подход облегчает анализ динамических свойств систем.

Наиболее часто в исследованиях используются такие типовые звенья, как

- безинерционное;
- апериодическое (инерционное);
- колебательное;
- дифференцирующее;
- интегрирующее;
- звено с запаздыванием.

Безинерционное звено (то же самое пропорциональное, идеальное, усилительное) при переходном процессе постоянно сохраняет пропорциональную зависимость между отклонениями входной и выходной координаты.

Связь между *входом* и *выходом* такого звена выглядит в виде алгебраического уравнения:

$$y = k \cdot x,$$

где k – коэффициент усиления.

Передаточная функция, частотная и переходная характеристики определяются выражениями $W(P) = k$; $W(i\omega) = k$; $y_p(t) = k$.

Примерами такого звена могут быть рычажные соединения, механические редукторы, электронные усилители и т.п.

Апериодические (инерционные) звенья могут иметь первый или второй порядок.

У апериодического звена первого порядка дифференциальное уравнение имеет вид:

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx,$$

где T – постоянная времени, k – коэффициент усиления.

Передаточная и частотная функции соответственно равны:

$$W(P) = \frac{k}{TP + 1}; \quad W(i\omega) = \frac{k}{T(i\omega) + 1}.$$

Переходная характеристика представляется в виде экспоненты (рис. 5.30).

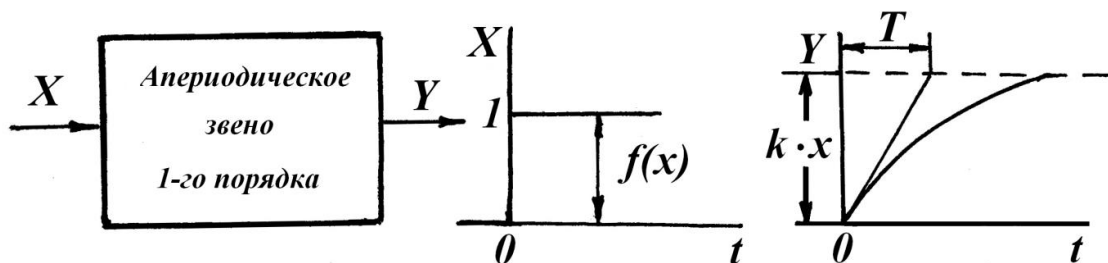


Рис. 5.30. Переходная характеристика апериодического звена первого порядка

Примеры таких звеньев:

1. Тракторный дизель. Если скачкообразно изменить подачу топлива, то обороты плавно изменятся до нового значения.
2. Электродвигатель. При изменении напряжения плавно изменяется температура.
3. Зерноуборочный комбайн с системой автоматического регулирования подачи хлебной массы.

Апериодическое второго порядка и колебательное звенья описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями:

$$T_1^2 \ddot{y} + T_2 \dot{y} + y = kx,$$

передаточными и частотными функциями:

$$W(P) = \frac{k}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}; \quad W(i\omega) = \frac{k}{T_1^2 (i\omega)^2 + T_2 (i\omega) + 1}.$$

Различаются они лишь соотношениями коэффициентов T_1 и T_2 и видом переходных характеристик.

У апериодического звена второго порядка $T_2 \geq 2T_1$. Это вызвано тем, что силы вязкого трения превышают инерционные. Из-за большого поглощения энергии при трении колебания в системе не возникают (рис. 5.31).

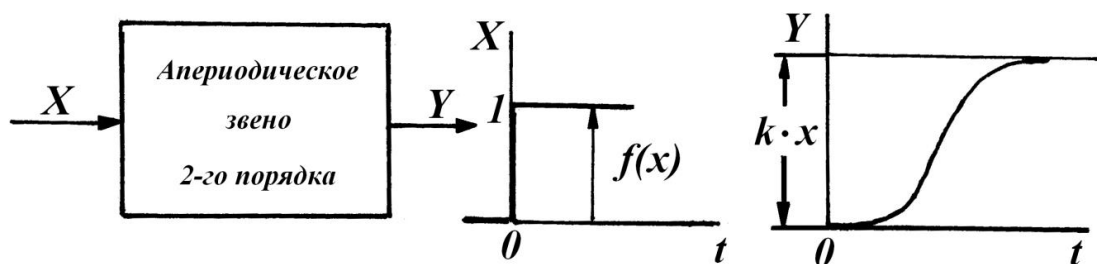


Рис. 5.31. Переходная характеристика апериодического звена второго порядка

У колебательного звена $T_2 < 2T$, а переход с одного уровня на другой сопровождается дополнительными колебаниями (рис. 5.32).

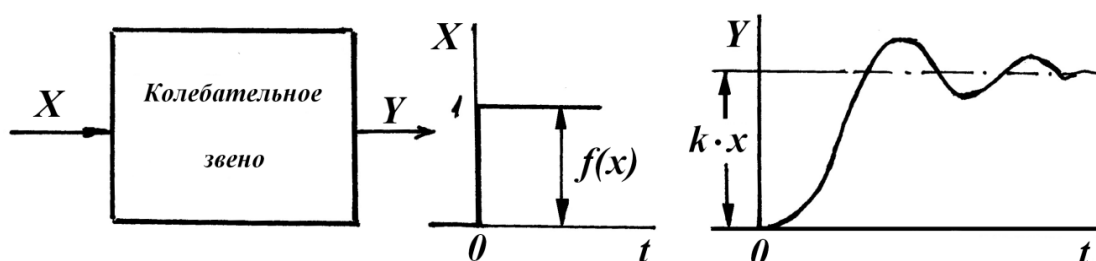


Рис. 5.32. Переходная характеристика колебательного звена

Параметры сошниковой группы желательно подобрать так, чтобы звено было апериодическим, и после встречи с неровностями не возникали дополнительные колебания.

До сих пор содержание математических моделей, в том числе и в виде «вход» и «выход» (рис. 5.25), определялось достаточно сложно, на основе составления и решением систем дифференциальных уравнений. В принципе возможен и другой путь решения, основанный на анализе соотношений информации о входных и выходных параметрах. В таком виде модели причисляют к так называемым *информационным моделям*.

Методы их составления и анализа будут рассмотрены в следующих главах.

5.5.4. Математические модели, основанные на использовании уравнения П. Аппеля

Удачным примером анализа технологических процессов с использованием уравнения П. Аппеля является исследование движения хлебной массы в зазоре между молотильным барабаном и декой, выполненное проф. Э.И. Липковичем [35]. Дело в том, что при разработке модели обмолота хлебной массы В.П. Горячкин использовал теорию неупругого удара, которая содержит предположение о том, что после соударения барабана с хлебной массой ворох приобретает скорость бича. Наблюдения за работой молотильного аппарата показали, что барабан, перемещая растительную массу, имеет большую, чем ворох скорость.

Это приводит к тому, что ворох проскальзывает относительно барабана, и за время нахождения колосьев в зазоре по ним наносится несколько ударов бичей.

Если выбрать на барабане фиксированный радиус, проходящий через входную планку деки, то за время t он повернется на угол ψ . За это же время поступившая в подбарабанье порция растительной массы повернется на угол φ относительно оси барабана, при этом $\varphi < \psi$ и $\dot{\varphi} < \dot{\psi}$.

Для определения скорости $\dot{\varphi}$ необходимо прежде всего установить взаимосвязь между скоростями $\dot{\varphi}$ растительной массы и $\dot{\psi}$ барабана, а также определить функцию $\dot{\varphi} = \varphi(t)$, т.е. характер изменения скорости порции во времени или по углу охвата.

Пусть углы поворота барабана ψ и хлебной массы φ будут использованы в качестве обобщенных координат системы барабан - хлебная масса.

С известным приближением можно полагать, что средние скорости барабана и порции вороха за время t могут быть выражены полусуммами величин скоростей на границах интервала, тогда

$$\begin{aligned}\psi &= (\omega_6 + \dot{\psi}) \cdot t / 2; \\ \varphi &= (\omega_1 + \dot{\varphi}) \cdot t / 2,\end{aligned}$$

где ω_6 – угловая скорость барабана на холостом ходу;

ω_1 – угловая скорость порции массы в подбарабанье;

$\dot{\varphi}, \dot{\psi}$ – текущие угловые скорости барабана и порции растений.

Из этих уравнений следует, что

$$2\psi = (\omega_6 + \dot{\psi})t; \quad 2\varphi = (\omega_1 + \dot{\varphi})t.$$

После определения времени t из каждого уравнения

$$t = 2\psi / (\omega_6 + \dot{\psi}); \quad t = 2\varphi / (\omega_1 + \dot{\varphi})$$

можно приравнять правые части формул и получить уравнение связи для φ и ψ :

$$\frac{2\psi}{\omega_6 + \dot{\psi}} = \frac{2\varphi}{\omega_1 + \dot{\varphi}}; \quad \psi(\omega_1 + \dot{\varphi}) = \varphi(\omega_6 + \dot{\psi}); \quad \psi\omega_1 + \psi\dot{\varphi} = \varphi\omega_6 + \varphi\dot{\psi},$$

$$\text{откуда } \dot{\varphi}\psi - \dot{\psi}\varphi - (\varphi\omega_6 - \psi\omega_1) = 0.$$

Одним из наиболее общих способов описания динамики системы механических элементов является составление уравнения Аппеля:

$$\frac{\partial S}{\partial \ddot{S}_\mu} = Q_\mu, \quad (5.32)$$

где S – энергия ускорений;

\ddot{S}_μ – независимая обобщенная координата;

Q_μ – обобщенная сила, соответствующая независимой обобщенной координате.

Применительно к движению барабана и хлебной массы в молотильном зазоре энергия ускорений может быть представлена уравнением:

$$S = \frac{1}{2} I \ddot{\psi}^2 + \frac{1}{2} m R^2 \ddot{\varphi}^2,$$

где I – момент инерции барабана;

m – масса порции вороха.

Частная производная энергии ускорений по независимой обобщенной координате будет равна:

$$\frac{\partial S}{\partial \ddot{S}_\mu} = \frac{\partial S}{\partial \ddot{\psi}} = I\ddot{\psi} + mR^2\ddot{\phi} \frac{\partial \ddot{\phi}}{\partial \ddot{\psi}}. \quad (5.33)$$

Ускорение $\ddot{\phi}$ на основании уравнения связи можно выразить через $\ddot{\psi}$:

$$\dot{\phi} = \frac{\varphi}{\psi}(\omega_6 + \dot{\psi}) - \omega_1 \quad \text{и} \quad \ddot{\phi} = \frac{[\dot{\phi}(\omega_6 + \dot{\psi}) + \varphi\ddot{\psi}]\psi - \varphi\dot{\psi}(\omega_6 + \dot{\psi})}{\psi^2},$$

откуда следует, что

$$\frac{\partial \ddot{\phi}}{\partial \ddot{\psi}} = \frac{\varphi}{\psi}. \quad (5.34)$$

Уравнение (5.33) с учетом соотношения (5.34) примет вид:

$$\frac{\partial S}{\partial \ddot{S}_\mu} = \frac{\partial S}{\partial \ddot{\psi}} = I\ddot{\psi} + mR^2\varphi \cdot \frac{\varphi}{\psi}. \quad (5.35)$$

Обобщенная сила, соответствующая независимой обобщенной координате, равна:

$$Q_\mu = \sum_{i=1}^N \bar{F}_i \bar{A}_{i\mu}, \quad (5.36)$$

где \bar{F}_i – внешние активные силы, приложенные к элементам системы;

$\bar{A}_{i\mu}$ – вектор Аппеля –

$$\bar{A}_{i\mu} = \frac{\partial \ddot{r}_i}{\partial \ddot{S}_\mu},$$

где r_i – путь, проходимый элементами системы.

К молотильному барабану приложен внешний активный крутящий момент, расходуемый на ускорение барабана M_y и порций хлебной массы M_m , причем,

$$M_y = F_y R, \quad M_m = N f_l \cdot R,$$

где F_y – сила, затрачиваемая на ускорение барабана, отнесенная к его бичам.

Внешней силой, тормозящей движение вороха в молотильном зазоре, будет только $N f_2$ – сила трения стеблей о деку, которая направлена в противоположную по отношению к скорости соломы сторону (рис. 5.33).

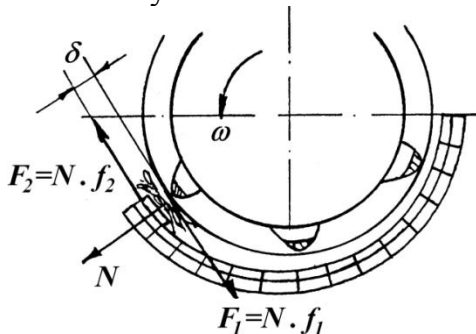


Рис. 5.33. Силы, действующие на порцию хлебной массы в молотильном зазоре

С учетом этих значений уравнение для определения обобщенных сил можно записать в таком виде:

$$Q_\mu = (F_y + Nf_1)A_{1\mu} - Nf_2A_{2\mu}.$$

Полагая разницу между величинами радиусов барабана и деки несущественной, можно получить

$$r_1 = R\psi, \quad r_2 = R\varphi, \quad \ddot{r}_1 = R\ddot{\psi}, \quad \ddot{r}_2 = R\ddot{\varphi}.$$

Принимая во внимание эти значения и соотношение $\frac{\partial \ddot{\varphi}}{\partial \ddot{\psi}}$ по уравнению (5.34), можно определить векторы Аппеля:

$$A_{1\mu} = \frac{\partial \ddot{r}_1}{\partial \ddot{\psi}} = \frac{\partial (R\ddot{\psi})}{\partial \ddot{\psi}} = R;$$

$$A_{2\mu} = \frac{\partial \ddot{r}_2}{\partial \ddot{\psi}} = \frac{\partial (R\ddot{\varphi})}{\partial \ddot{\psi}} = R \frac{\varphi}{\psi},$$

и тогда уравнение примет вид:

$$Q_\mu = (F_y + N \cdot f_1)R - N \cdot f_2 \cdot R \frac{\varphi}{\psi}.$$

Уравнение Аппеля для исследуемой системы запишется тогда в следующей форме:

$$I\ddot{\psi} + mR^2\ddot{\varphi} \cdot \frac{\varphi}{\psi} = F_y \cdot R + N \cdot f_1 \cdot R - N \cdot f_2 \cdot R \frac{\varphi}{\psi}. \quad (5.37)$$

Поскольку

$$I\ddot{\psi} = F_y R, \quad \text{то} \quad mR^2\ddot{\varphi} = NR \left(f_1 \frac{\psi}{\varphi} - f_2 \right).$$

Полученное уравнение содержит сомножитель ψ/φ , учитывающий проскальзывание барабана относительно порции вороха. При отсутствии скольжения, т.е. когда $\psi = \varphi$, формула (5.37) превращается в обычное уравнение динамики, составленное на основе второго закона Ньютона.

Это уравнение можно преобразовать на основе соотношений (стр. 118):

$$mR^2\ddot{\varphi} = NR \left(f_1 \frac{\omega_\delta + \dot{\psi}}{\omega_1 + \dot{\varphi}} - f_2 \right).$$

При нормальном рабочем режиме барабана колебания его угловой скорости не превосходят 3...4%, влиянием которых на величину скорости порции стеблей в подбарабанье можно пренебречь. В этом случае

$$\dot{\varphi} = \omega_\delta = \text{const} \quad \text{и} \quad mR^2\ddot{\varphi} = NR \left(f_1 \frac{2\omega_\delta}{\omega_1 + \dot{\varphi}} - f_2 \right).$$

Введя обозначения

$$\frac{N \cdot R \cdot f_2}{m \cdot R^2} = H, \quad \frac{2\omega_\delta \cdot f_1}{f_2} = D$$

и заменяя переменную $\omega_1 + \varphi = y$, можно получить

$$\dot{y} = H \left(\frac{D}{y} - 1 \right).$$

Общее решение этого дифференциального уравнения можно записать в виде:

$$-Ht = y - D + D \ln(y - D) + c. \quad (5.38)$$

Возвращаясь к первоначальной форме переменной $\dot{\varphi} = \omega$ и замечая, что

$$t = \frac{2\varphi}{\omega_1 + \omega},$$

окончательно получают результат:

$$2H\varphi + \omega^2 - \omega_1^2 = D(\omega_1 + \omega) \cdot \ln \left| \frac{2\omega_1 - D}{\omega_1 + \omega - D} \right|. \quad (5.39)$$

Выражение представляет собой трансцендентное уравнение для вычисления угловой скорости движения порции стеблей в подбарабанье в зависимости от угла поворота барабана. Эта скорость зависит от массы порции стеблей, скорости бича, нормального усилия сжатия вороха и коэффициентов трения барабана по вороху и соломы по деке.

На кафедре сельскохозяйственных машин ПГСХА разработана компьютерная программа, позволяющая проводить вычислительный эксперимент по модели обмолота хлебной массы [31], которая содержит, кроме рассмотренной модели движения хлебной массы в зазоре между декой и барабаном, а также процесса просеивания, возможность дробления зерна.

Часть расчетов приведена в таблице 5.6.

Контрольный пример работы по программе «Обмолот (Obmolot)»

Введите

производительность молотилки, кг/с (5)? 5
 урожайность зерна, ц/га (30)? 30
 влажность вороха, % (20)? 20
 длину молотильного барабана, м (1.2)? 1.2
 коэффициент соломистости (0.6)? 0.6
 ширину захвата жатки, м (5)? 5
 тип убираемой культуры (1-пшеница, 2-рожь) (1)? 1

Фактическая производительность $q_f = 4.70$ кг/с

Допустимая скорость движения комбайна 4.51 км/ч

Список обозначений вычисляемых параметров

φ_i – угол охвата деки в градусах

L_d – длина деки в метрах

N – сила сжатия соломы в молотильном зазоре, Н

F_1 – сила трения между барабаном и хлебной массой, Н

F_2 – сила трения между декой и хлебной массой, Н

ω – угловая частота движения хлебной массы в молотильном зазоре, 1/с
 V – линейная скорость вороха между декой и барабаном, м/с
 B – коэффициент растаскивания соломы планками барабана
 Nud – число ударов нанесенных бичами по вороху
 Ksi – коэффициент характеризующий содержание зерна в ворохе над декой
 $1-Ksi$ – коэффициент определяющий степень просеивания зерна через решетку подбарабання
 Ned – степень недомолота зерна в %
 $Drobl$ – общее дробление зерна в %
 q – производительность молотильного барабана, кг/с
 $Del1-Del2$ – величина входного и выходного зазоров, мм
 V_b – линейная скорость бича, м/с
 D – диаметр барабана, м

Таблица 5.6

Значения параметров процесса обмолота в зависимости от угла поворота
(при $D=0,55$)

Fi	Lg	N	F1	F2	ω	V	B	Nud	Ksi	1-Ksi	Ned	Drobl
0.0	0.00	96.41	43.38	38.56	14.07	3.9	1.13	0.9	0.850	0.150		
15.0	0.07	43.42	19.54	17.37	16.29	4.5	1.30	3.2	0.734	0.266		
30.0	0.14	39.14	17.61	15.65	17.93	4.9	1.43	5.3	0.634	0.366		
45.0	0.22	41.24	18.56	16.50	19.51	5.4	1.56	7.2	0.547	0.453		
60.0	0.29	47.14	21.21	18.85	21.20	5.8	1.70	9.0	0.473	0.527		
75.0	0.36	57.01	25.65	22.00	23.11	6.4	1.85	10.6	0.408	0.592		
90.0	0.43	72.39	32.57	28.96	25.36	7.0	2.03	12.1	0.353	0.647		
105.0	0.50	96.61	43.48	38.64	28.11	7.7	2.25	13.4	0.305	0.695	0.60	1.38
120.0	0.58	136.67	61.50	54.67	31.62	8.7	2.53	14.6	0.263	0.737	0.30	1.64
125.0	0.60	155.83	70.13	62.33	33.02	9.1	2.64	15.0	0.250	0.750	0.24	1.76
130.0	0.62	179.33	80.70	71.73	34.57	9.5	2.77	15.3	0.238	0.762	0.19	1.91
135.0	0.65	208.52	93.83	83.41	36.30	10.0	2.90	15.7	0.227	0.773	0.15	2.08
140.0	0.67	245.34	110.40	98.14	38.25	10.5	3.06	16.0	0.216	0.784	0.12	2.30
145.0	0.70	292.61	131.67	117.04	40.47	11.1	3.24	16.3	0.206	0.794	0.09	2.56

5.5.5. Модели, основанные на использовании теории сплошных сред

Одним из недостатков существующих моделей технологических процессов является то обстоятельство, что действующая на рабочие органы та или иная масса считается сосредоточенной, и рассматривается как материальная точка. В действительности, чаще всего рабочие органы взаимодействуют со средами, например, с такими, как почва, жидкости, воздух, сыпучие материалы и т.д.

Движение среды отличается от движения твердого тела тем, что там наблюдается не только перемещение по определенной траектории, но и сдвиги слоев, изменения формы, вращения отдельных элементов (например, вихри), расширение и сжатие и т.д.

В ряде случаев на технологический процесс могут влиять внешние поля, например, гравитационное, электростатическое, электромагнитное, свойства которых описываются практически теми же законами, что и сплошные среды.

Разработке теории сплошных сред приложили усилия многие выдающиеся ученые, такие как Ж. Лагранж, Я. Бернулли, Л. Эйлер, Р. Гук, Ш. Кулон, Л. Прандтль, С. Пуансон, Н.Е. Жуковский, С.А. Чаплыгин, Л.Д. Ландау и многие другие.

В основу механики сплошных сред положены четыре основных закона механики: закон сохранения массы, закон изменения количества движения (импульса), закон изменения момента количества движения, закон изменения кинетической энергии. Эти законы формулируются для объемов среды конечных размеров, так как при этом все слагаемые, входящие в соответствующие уравнения, имеют ясное механическое содержание.

Вообще говоря, для описания сплошной среды использовано исследование взаимодействия системы бесконечного множества точек, непрерывно заполняющих некоторую область пространства.

Для этой цели можно воспользоваться обычным приемом задания в функции от времени t координат (x_1, x_2, x_3) отдельных точек сплошной среды, но чтобы *индивидуализировать* такие уравнения для различных точек среды, необходимо как-то выделить данную точку среды из остальных.

Следуя Ж. Лагранжу, в качестве определяющих выбор точки параметров можно принять ее декартовы или, вообще говоря, любые другие координаты a_1, a_2, a_3 в некоторый начальный момент $t = t_0$. Тогда уравнениями движения любой точки среды будут служить выражения

$$X_k = x_k[(a_i)t], \quad (k = 1, 2, 3). \quad (5.40)$$

Величина (a_i) здесь обозначает совокупность всех значений a_i .

Уравнения (5.39) отвечают на вопрос, где будет находиться точка с начальными координатами (a_i) в произвольно заданный момент времени t .

Совокупность значений (a_i) и t носит название *переменных Лагранжа*, которые применяются повсюду, где приходится иметь дело с малыми смещениями частиц сплошной среды (например, в теории упругости, теории волн малой амплитуды и т.п.).

Более широкое применение имеют *переменные Эйлера*, определяющие проекции перемещений (P_k) или скоростей (V_k) в данной фиксированной в пространстве точке x_i при заданном t :

$$V_k = V_k[(x_i), t], \quad (k = 1, 2, 3). \quad (5.41)$$

Такое представление определяет поле скоростей в данной области пространства в любой момент времени.

Метод Эйлера более соответствует практическим требованиям, чем метод Лагранжа, так как экспериментальное измерение скоростей в данной точке пространства может быть зафиксировано существующими приборами, в то время как задание начальных координат отдельных точек среды должно быть отнесено, скорее, к *мысленному эксперименту*.

Вообще говоря, существует связь между переменными Лагранжа и Эйлера.

По определению проекции скорости можно найти

$$V_k = \frac{dx_k}{dt} = V_k(x_1, x_2, x_3, t), \quad (k = 1, 2, 3), \quad (5.42)$$

что представляет собой систему трех обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка относительно (x_i).

К необходимости обращения к такой модели привело, в частности, одно из наблюдений за работой пневматического высевающего аппарата пунктирной сеялки.

Силу присасывания семян к отверстиям дозирующих дисков находят в настоящее время либо по известной формуле И. Ньютона:

$$P = \frac{1}{2} c \rho S V^2, \quad (5.43)$$

где c – коэффициент, характеризующий аэродинамические свойства семян; ρ – плотность воздуха; S – площадь поперечного сечения семян; V – скорость воздушного потока, которой обычно пользуются при определении воздействия воздуха на свободную частицу, помещенную в воздушный поток (рис. 5.34а), или по формуле:

$$P = k \cdot \Delta P \cdot S_1, \quad (5.44)$$

где k – коэффициент присасывания;

ΔP – перепад давлений до и после отверстия;

S_1 – площадь отверстия, если частица уже перекрыла отверстие (рис. 5.34б)

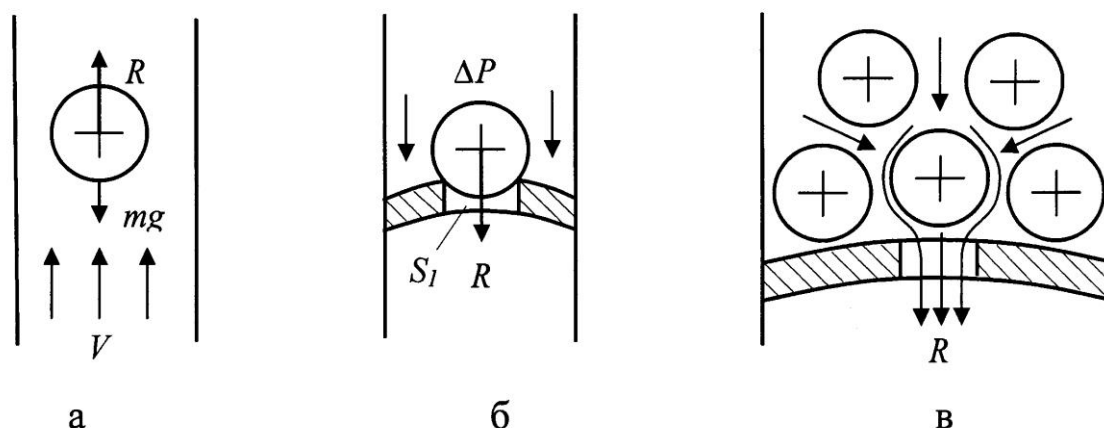


Рис. 5.34. Схема взаимодействия семян с воздушным потоком

Одной из первых экспериментальных работ по определению силы присасывания было исследование К.Веллера, проведенное на моделях семян в виде шаров, эллипсоидов и на семенах сахарной свеклы с разным расстоянием x от присасывающего отверстия.

Было установлено, что с уменьшением x сила присасывания возрастает и достигает максимальной величины при $x = 0,2$ мм. Семена к отверстиям присасываются хуже, чем шары.

Эффект дополнительного увеличения присасывающей силы вызывается изменением скорости воздуха, обтекающего вокруг семян, подобно тому как увеличивается подъемная сила крыла самолета при полете.

Основой для уравнений, описывающих течение воздуха около семян, могут служить уравнения механики сплошной среды.

1. Закон сохранения массы газа (5.45), приводящий к уравнению неразрывности (5.46):

$$\frac{d}{dt} \left(\int_{\tau} \rho \cdot d\tau \right) = 0, \quad (5.45) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \operatorname{div}(V) = 0. \quad (5.46)$$

2. Закон сохранения количества (5.47) и изменения количества движения (5.48):

$$Q = \int_{\tau} \rho \cdot V d\tau, \quad (5.47) \quad \frac{dQ}{dt} = \int_{\tau} \rho \cdot F d\tau + \int_{\sigma} P_n d\sigma. \quad (5.48)$$

3. Основное уравнение динамики сплошной среды:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \rho F + \operatorname{Div} \mathbf{P}. \quad (5.49)$$

4. Уравнение баланса энергии сплошной среды:

$$\rho \frac{d}{dt} \left(U + \frac{V^2}{2} \right) = \rho FV + \operatorname{div}(\mathbf{P}V) + \rho q. \quad (5.50)$$

5. Зависимость плотности среды от давления:

$$\rho = \rho(\mathbf{P}), \quad (5.51)$$

где ρ – плотность среды; τ и σ – соответственно элементарный объем и его поверхность; P_n и F – плотность поверхностных и массовых сил; \mathbf{P} – тензор напряжений в среде газа; U – удельная внутренняя энергия среды; q – удельное количество энергии, подведенной извне.

Уравнения (5.45...5.51) содержат 13 неизвестных: (элементы тензора $P_{xx}, P_{yx}, P_{xz}, P_{xy}, P_{yy}, P_{zy}, P_{xz}, P_{yz}, P_{zz}$, составляющие скорости V_x, V_y, V_z , и ρ), т.е. представляют собой незамкнутую систему.

Для замыкания этой системы используют обычно те или иные допущения о математических моделях среды: идеально упругая среда, подчиняющаяся линейному закону Гука, идеальная жидкость, лишенная внутреннего трения, вязкая жидкость, движение которой описывается законом И.Ньютона и т.д. Разумеется, что использование той или иной модели, идеализирующей реальный процесс, может привести к ошибкам, что ставит задачу об их оценке.

При сравнительно низких скоростях движения воздух чаще всего представляют в виде идеальной жидкости. В этом случае давление в среде

$$P_{xy} = P_{yx} = P_{yz} = P_{zy} = P_{xz} = P_{zx} = 0, \quad P_x = P_{yy} = P_{zz} = -P. \quad (5.52)$$

Уравнение динамики (5.46) в проекциях на оси координат в этом случае преобразуется к виду:

$$\left. \begin{aligned}
\frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\
\frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} &= F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \\
\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} &= F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \\
\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} &= 0 \\
\rho = \rho(P) - \text{уравнение баротропности}
\end{aligned} \right\} \quad (5.53)$$

Если $\rho = \text{const}$, то жидкость несжимаема, а в случае

$$\rho = \rho^k = \text{const} , \quad (5.54)$$

где k – показатель адиабаты, движение среды считают адиабатическим.

Обычно несжимаемыми признают капельные жидкости.

При идеализации движения воздуха отказ от учета его сжимаемости представляется чрезмерным.

Оценка возможных ошибок может быть осуществлена решением задачи об одномерном распространении малых возмущений в неподвижном газе. Установлено, что отношение плотностей и давлений в среде при изменении скоростей воздуха в этом случае составляет

$$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 - \frac{1}{2} M^2 + \dots; \quad \frac{2(P_0 - P)}{\rho V^2} = 1 + \frac{1}{4} M^4 + \dots, \quad (5.55)$$

где M – число Маха.

Расчеты по этим формулам показывают, что если $V < 50$ м/с, то относительная ошибка от неучета сжимаемости газа может составить 1%. В этом случае движение воздуха по трубке тока вокруг семян (рис. 5.35) может быть описано уравнением Бернулли.

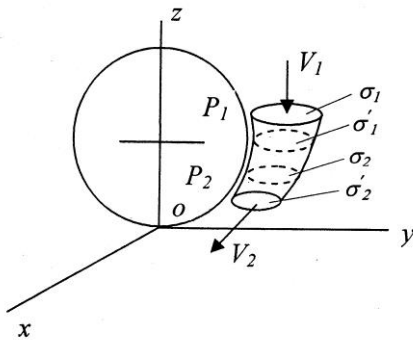


Рис. 5.35. Схема движения воздуха по трубке тока

Если свойства реальной среды заменить свойствами идеальной изобарной жидкости и пренебречь притоком тепла извне на участке присасывания семян, то уравнение (5.50) баланса энергии сплошной среды может быть сведено к уравнению, описывающему изменение кинетической энергии T и, в конечном счете [36], – к уравнению Бернулли:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + g \cdot z_1 = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + g \cdot z_2 , \quad (5.56)$$

Уравнение Бернулли позволяет определить давление воздуха в струях, обтекающих семена, если окажутся известными скорости элементов среды и геометрические параметры семян и аппарата, от которых зависят координаты z_1 и z_2 .

С помощью теоремы кинетической энергии (5.56) (теорема Бернулли) и теоремы количества движения (5.48) (теорема Эйлера) можно определить главный вектор сил давления среды на обтекаемый ею замкнутый контур. Величина этого вектора, а вместе с тем и подъемной силы R (как ее называют в аэродинамике), определяется формулой Жуковского:

$$R = \rho V_{\infty} \Gamma, \quad (5.57)$$

где Γ - циркуляция скорости потока V по контуру профиля C , определяемая контурным интегралом:

$$\Gamma = \oint_C V_{\infty} \cdot \delta r, \quad (5.58)$$

где V_{∞} – скорость набегающего на контур потока воздуха.

Циркуляция потока зависит от вида потока, формы семян и конструкции пневматических каналов сеялки.

В общем виде потоки воздуха могут быть плоскими (что характерно, например, для щелевых пневматических аппаратов), осесимметричными или пространственными. В зависимости от скорости воздуха и условий движения его в каналах потоки подразделяют на потенциальные (безвихревые) и вихревые.

Если движение среды безвихревое, то из условия равенства нулю вихря скорости $rot V$ следует существование функции φ от координат и времени, связанной со скоростью V равенством:

$$V = grad \varphi, \quad (5.59)$$

или в проекциях на оси прямоугольных декартовых координат

$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad u = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad (5.60)$$

называемой *потенциалом поля скоростей*.

Уравнением поверхности уровня потенциала скоростей будет служить

$$\varphi(x, y, t) = const.$$

Траектории движения частиц среды в случае стационарного потока ($t=0$) совпадают с функцией тока

$$\psi(x, y) = C. \quad (5.61)$$

С помощью этой функции составляющие скорости u, v могут быть определены как частные производные:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial y}. \quad (5.62)$$

Функция тока $\psi(x, y)$ и эквипотенциальные поверхности $\varphi(x, y)$ (в случае плоского потока - кривые линии) образуют в совокупности гидродинамическую сетку, которая определяет движение среды (рис. 5.36а).

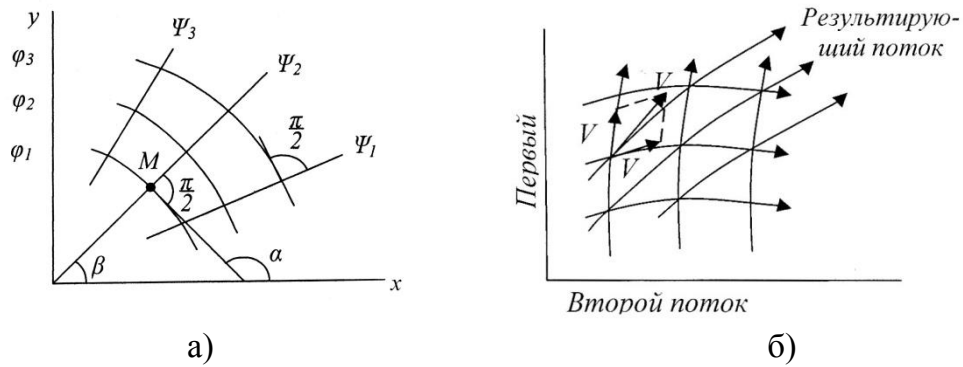


Рис. 5.36. Схема определения скорости воздуха:

а - гидродинамическая сетка; б) – схема взаимодействия потоков

Если сопоставить равенства (5.60) и (5.62), то для соответствующих проекций скоростей потока можно получить равенства

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y} ; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x} , \quad (5.63)$$

представляющие собой дифференциальные уравнения Коши-Римана, которым удовлетворяют вещественная и мнимая части всякой регулярной функции комплексного переменного $f(z)$, где в данном случае $z = x + iy$.

Функцию $\chi = \varphi + i\psi$ называют характеристической функцией плоского потока или комплексным потенциалом функции $f(z)$.

Производная от характеристической функции

$$\frac{d\chi}{dz} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + i \frac{\partial \psi}{\partial x} = u - iv$$

представляет собой вектор, сопряженный с вектором скорости.

Использование комплексного потенциала χ позволяет определять компоненты скорости среды по одной переменной z , вместо двух – x и y .

В настоящее время в теории сплошной среды [27], [28] определены значения φ , ψ , χ для многих вариантов обтекания тел разнообразной формы как идеальной, так и вязкой жидкостью в потенциальных и вихревых потоках. Решены эти задачи для всех видов источников и стоков (линейных, плоских, осесимметричных, пространственных).

К сожалению, использование этих решений для анализа работы пневматического высевающего аппарата связано с определенными трудностями. Дело в том, что определение потенциала φ и трубки тока ψ связано с решением уравнения неразрывности потока (5.46):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 .$$

Подставляя в это уравнение вместо компонент скорости их выражения через потенциальную функцию φ по формулам (5.60), можно получить

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 -$$

уравнение Лапласа, которое, как уравнение в частных производных, имеет бесчисленное множество решений.

Дополнительными требованиями, позволяющими определить функцию φ в конкретных случаях, являются граничные условия.

При решении задачи обтекания тела используют два граничных условия:

$$[V_n]_s = \left[\frac{\partial \varphi}{\partial n} \right]_s = 0 \quad \text{и} \quad V_\infty = V.$$

Первое из условий является выражением непроницаемости тела, т.е. нормальные составляющие скорости воздуха должны быть равны 0.

По второму условию на весьма далеком расстоянии от тела, где возмущающее влияние тела на поток отсутствует (условно говоря, на бесконечности), поток должен иметь заданную скорость V_∞ .

Например, при обтекании сферы плоским потоком распределение скоростей на ее поверхности может быть выражено уравнением:

$$V_r = \left(\frac{\partial \varphi_{омн}}{\partial S} \right)_{r=a} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_{омн}}{\partial \Theta} \right)_{r=a} = \frac{3}{2} V_\infty \cdot \sin \Theta. \quad (5.64)$$

При решении этой задачи предполагалось, что в зоне движения воздуха около тела нет источника или стока. В действительности семена присасываются к отверстию высевающего диска, то есть именно к стоку, который расположен в непосредственной близости от семян. Преодоление затруднений такого рода может быть осуществлено методом наложения потоков или путем использования конформных преобразований [27], [28].

Метод наложения для потенциальных потоков может быть реализован с учетом того, что потенциал суммарного поля скоростей может быть представлен в виде суммы потенциалов отдельных составляющих:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$$

В случае потенциальных и вихревых потоков может быть использован графический способ построения линий тока результирующего потока (рис.5.36б).

Данный способ легко и с достаточной точностью может быть реализован на ЭВМ.

5.5.6. Вероятностные (стохастические) модели технологических процессов, основанные на использовании стандартных законов распределения случайных величин

Основной особенностью технологических процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами, является случайный характер практически всех параметров, характеризующих как входные воздействия, так и результаты работы. Случайными являются и физико-механические свойства сельскохозяйственных сред и материалов. Вероятностные модели неизбежны при исследованиях, связанных случайными величинами (размеры семян, растений, урожайность, время обслуживания и др.), событиями (всхожесть семян, технические и технологические отказы и др.) и случайными процессами (динамика машин, автоматическое регулирование).

Наиболее полной характеристикой случайной величины является закон распределения.

Для дискретных случайных величин закон распределения может быть выражен в виде ряда распределения и функции распределения $F(x)$, устанавливающий соответствие между возможными значениями x случайной величины X и вероятностью P их появления:

$$F(x) = P(X = x) . \quad (5.65)$$

Непрерывную случайную величину характеризует только функция распределения, причем из-за парадокса нулевой вероятности

$$F(x) = P(X < x) , \quad (5.66)$$

т.е. функция распределения $F(x)$ определяет вероятность P события, при котором случайная величина X окажется меньше заранее заданного значения x .

Вид функции распределения для дискретных и непрерывных случайных величин представлен на рис. 5.37.

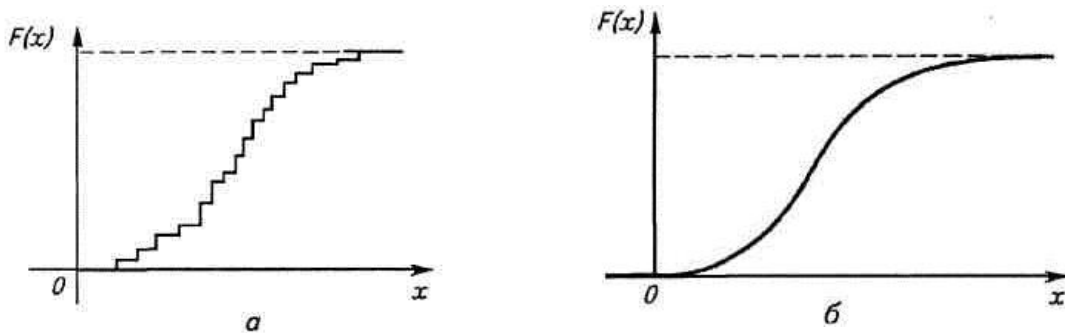


Рис. 5.37. Функция распределения случайных величин:
а – дискретных; б – непрерывных

Функция распределения непрерывных случайных величин изменяется в интервале от 0 до 1:

$$0 \leq F(x) \leq 1 .$$

Это – неубывающая функция, т.е. если $x_2 > x_1$, то $F(x_2) > F(x_1)$ и вероятность того, что случайная величина X окажется в пределах интервала $x_1 < x_2$ и будет равна приращению функции на этом интервале

$$P(x_1 < x < x_2) = F(x_2) - F(x_1) . \quad (5.67)$$

Функцию $F(x)$ часто называют *интегральной функцией распределения*. Закон распределения непрерывных случайных величин может быть выражен также *дифференциальной функцией* или иными словами – *плотностью распределения* $f(x)$ (рис. 5.38).

Если вероятность попадания случайных величин на заданный участок определять с помощью дифференциальной функции распределения, то

$$P(a < x < b) = F(b) - F(a) = \int_a^b f(x) dx . \quad (5.68)$$

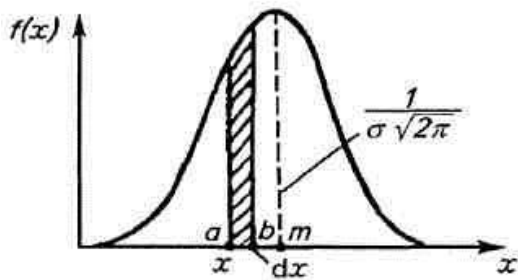


Рис. 5.38. Дифференциальная функция распределения

Наряду с законами распределения случайные величины, как известно, оценивают так называемыми числовыми характеристиками, среди которых используют *математическое ожидание*, *дисперсию*, *начальные и центральные μ моменты*, в частности:

$$m_x = m_1 = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx; \quad D_x = \mu_2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x)^2 f(x)dx,$$

где $x = x - m_x$ – центрированное значение случайной величины x .

Математическое ожидание m_x является мерой положения случайной величины на числовой оси. Это то среднее значение x , к которому она приближается, если число измерений стремится к бесконечности.

Кроме важнейшей из характеристик положения – *математического ожидания* – на практике иногда применяются и другие характеристики положения, в частности, *мода* и *медиана* случайной величины.

Модой является то значение непрерывной случайной величины, в котором плотность вероятности максимальна. (Для прерывных, дискретных модой называют наиболее вероятное значение).

Если распределение имеет более одного максимума, то оно называется *полимодальным*, а в случае, когда экстремум функции определяет не максимальное, а минимальное значение – *антимодальным*.

Медианой случайной величины X называется такое ее значение M_e , для которого

$$P(X < M_e) = P(X > M_e),$$

т.е. одинаково вероятно, окажется ли случайная величина меньше или больше M_e . Для непрерывных случайных величин *медиана* – это абсцисса точки, в которой площадь, ограниченная кривой распределения, делится пополам.

Дисперсия является мерой рассеяния значений случайной величины относительно математического ожидания. Чем больше дисперсия, тем большими могут быть отклонения от m_x до x .

Поскольку количество измерений на практике всегда ограничено, то приходится вместо математического ожидания и «теоретической» дисперсией использовать их оценки:

$$\tilde{m}_x = x_{cp} = \frac{\sum x_i}{n}; \quad \tilde{D}_x = \frac{\sum (x_i - x_{cp})^2}{n}. \quad (5.69)$$

Разумеется, чем больше число измерений, тем больше оценки приближаются к соответствующим теоретическим значениям.

При использовании дисперсии в качестве меры рассеяния следует иметь ввиду, что ее размерность равна квадрату размерности изучаемой величины, поэтому в ряде случаев более удобной характеристикой рассеяния считают *среднее квадратическое отклонение*:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} . \quad (5.70)$$

В качестве относительной меры рассеяния случайных величин используют *коэффициент вариации*:

$$V_x = \frac{\sigma_x}{m_x} 100 . \quad (5.71)$$

Иногда в качестве числовых характеристик используют *асимметрию* и *эксцесс* распределения.

Коэффициент асимметрии, например, равен:

$$S_x = \frac{\mu_3(x)}{\sigma_x^3} ,$$

и эксцесс, являющийся мерой заостренности кривой $f(x)$, вычисляется по формуле:

$$E_x = \frac{\mu_4(x)}{\sigma_x^4} - 3 .$$

С помощью коэффициентов асимметрии и эксцесса изучаемые распределения можно сравнить с наиболее распространенными и хорошо исследованными.

В настоящее время известно и широко используется большое количество законов распределения случайных величин.

Часто их разделяют на две группы:

- теоретические (стандартные);
- выборочные (эмпирические).

К разработке основ теории вероятностей и построению теоретических распределений на основе доказательств закона больших чисел и центральной предельной теоремы для непрерывных и целочисленных случайных величин относятся труды многих выдающихся ученых, начиная с Д.Кардана, Б.Паскаля, П.Ферма, Х.Гюйгенса, Я.Бернулли, до таких корифеев, как П.Лаплас, К.Гаусс, С.Пуассон, Р.Фишер, Н.Винер и наших соотечественников А.Маркова, П.Чебышева, А.Ляпунова, А.Колмогорова и др., вклад которых оказался настолько значительным, что теорию вероятностей за рубежом стали называть *русской наукой*.

Согласно центральной предельной теореме случайная величина, представляющая собой сумму большого числа независимых случайных величин, максимальная из которых мала по сравнению со всей суммой, имеет *нормальное распределение*. Термин «нормальное распределение» ввел К.Пирсон. Более старые наименования – *Гаусса-«закон»*, *Гаусса-Лапласа-«распределение»*.

Кстати, классическим примером возникновения нормального распределения как точного принадлежит К.Гауссу при исследовании им закона распределения ошибок наблюдений.

Функция нормального распределения выражается формулой:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (5.72)$$

а плотность:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (5.73)$$

Кривая плотности нормального распределения симметрична относительно m_x и имеет в этой точке единственный максимум, равный $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$.

С уменьшением σ кривая плотности становится все более островершинной. Изменение m_x при постоянном σ не меняет формы кривой, а вызывает лишь ее смещения по оси абсцисс. С вероятностью менее 0,003 все значения случайных величин с этим законом укладываются в интервал $\pm 3\sigma$ – т.н. *правило трех сигм*.

Коэффициент асимметрии и эксцесс нормального распределения равны нулю.

Исторически первой теоремой, простейшей формой закона больших чисел было исследование схемы независимых испытаний Я. Бернулли, приведшее к обоснованию *биномиального* и *пуассоновского* распределений.

Биномиальное распределение определяет вероятность события A , которое в n испытаниях появится ровно m раз, выражается формулой:

$$P_{m,n} = C_n^m p^m q^{n-m}, \quad (5.74)$$

где P – вероятность появления события A ;

$q = 1 - P$;

C_n^m – бином Ньютона.

Распределение Пуассона. Говорят, что случайная величина X распределена по закону Пуассона, если вероятность того, что она примет определенное значение m , выражается формулой:

$$P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a} \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad (5.75)$$

где a – некоторая положительная величина, называемая *параметром* закона Пуассона (математическое ожидание, m_x).

Природа Пуассоновского распределения как точного распределения вероятностей наиболее полно раскрыта в теории случайных или стохастических процессов.

В рамках этой теории (*пуассоновские, марковские, ветвящиеся процессы* и др.) разработана большая группа теоретических распределений, а также методология их обоснования. Опираясь такими понятиями, как события, их вероятности, случайные величины, их законы распределения и числовые характеристики, теория вероятностей дает возможность теоретическим путем определять вероятности одних событий через вероятности других, законы распределения и числовые характеристики других. Такая

методология успешно освоена в новых и своеобразных методах прикладной теории вероятностей, появление которых связано со спецификой исследуемых технических проблем. Речь идет, в частности, о таких дисциплинах, как *теория информации, теория массового обслуживания, статистическая механика, статистическая физика* и др.

Интересен и тот факт, что работы в области теории вероятностей имели большое мировоззренческое значение. В свое время Б.Наполеон своеобразно отозвался о книге П.Лапласа: «Ньютон в своей книге говорил о Боге. В вашей же книге, которую я уже просмотрел, я не встретил имени Бога ни разу». Лаплас якобы ответил: «Гражданин Первый консул, в этой гипотезе я не нуждался».

Эта тенденция оказалась продолженной замечательным русским ученым А.А. Марковым, который обратился в русский православный Синод с просьбой об отречении его от церкви.

Обоснование схемы очистки семян сельскохозяйственных культур

Одной из первых вероятностных моделей организации технологических процессов в механизации сельскохозяйственного производства стало составление схемы очистки семян в работах М.Н. Летошнев [39]. Прежде всего в его трудах была показана непротиворечивость гипотезы о том, что размеры семян (впрочем, как и другие физико-механические свойства) имеют *нормальное распределение*.

В качестве примера сопоставимости фактических значений случайной величины с расчетными, определяемыми по нормальному закону распределения, приведены результаты измерений длины пятисот семян ржи Вятка и теоретический ряд, построенный по уравнению (5.72) [39].

Таблица 5.7

Распределение размеров семян ржи Вятка, среднее значение 7,86 мм, среднеквадратическое отклонение 0,717 мм

Границы классов, мм	6,2 6,6 7,0 7,4 7,8 8,2 8,6 9,0 9,4 9,8										
Классы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Действительный ряд	3	16	38	72	107	101	90	46	17	8	2
Теоретический ряд	4	14	36	73	103	106	88	48	20	6	1

Числовые характеристики физико-механических свойств семян многих культурных растений и сорняков приводятся в многочисленных литературных источниках по очистке и сортированию семян. Это дает возможность построения вариационных кривых свойств основной культуры и сопутствующих примесей, что позволяет обоснованно подойти к выбору принципа разделения смеси, размеров рабочих элементов.

Для составления схемы (или последовательности) очистки семян необходимо, прежде всего, определить рабочие признаки, по которым воз-

можно разделение смеси и размер рабочих элементов, способных отделить один компонент от другого. Часто предлагается несколько способов разделения смеси. В этом случае предпочтение отдают тому, при котором разделение компонентов произойдет с большей скоростью (производительностью). Так, разделение смеси по толщине производится решетками с продолговатыми отверстиями, а они обеспечивают более высокую производительность, чем, скажем, решетка с круглыми отверстиями, и тем более триер, ячейки которого ведут поштучный отбор семян. Поэтому, если возможно разделение и по толщине, и по ширине, и по длине, то предпочтение необходимо отдать первому варианту.

Но чтобы получить наглядное представление о возможностях разделения по тому или иному признаку, прежде всего, необходимо построить вариационные кривые всех компонентов смеси. Взаимное расположение вариационных кривых основной культуры и засорителей может показать вероятную степень разделения и позволяет определить размеры рабочего элемента для отделения сорняков.

Если, например, вариационные кривые, построенные для толщины семян, не перекрываются (рис. 5.39а), то отделить крупные примеси можно решетками с размером продолговатых отверстий от 4 до 4,5 мм, а мелкие – от 2 до 2,5 мм.

При частичном перекрытии вариационных кривых (рис. 5.39б) полное отделение примесей возможно лишь при условии отхода части семян основной культуры с примесями.

Рабочие размеры решет в этом случае подбирают так, чтобы обеспечить требуемую чистоту семян и не допустить больших потерь зерна. Когда вариационные кривые полностью перекрываются (рис. 5.39в), то отделение примесей по данному признаку невозможно, и следует перейти к построению кривых по другому физико-механическому свойству.

Для построения вариационных кривых используется уравнение (5.72), в которое нужно подставить числовые характеристики (x_{cp} и σ) для каждого компонента смеси. Числовые характеристики могут быть определены экспериментальным путем, но чаще их берут из литературных источников. Для поиска значений числовых характеристик успешно может быть использована база данных ЭВМ.

После построения вариационных кривых можно перейти к выбору верхнего ($x_в$) и нижнего ($x_н$) значений рабочего элемента, разделяющего смесь (рис. 5.40). Два значения ($x_в$ и $x_н$) выбирают потому, что примеси (крупные и мелкие) оказываются обычно и по левую, и по правую сторону от основной культуры. Но если даже вариационных кривых сорных примесей с какой-либо стороны от основной культуры не окажется, то, тем не менее, оба рабочих органа с элементами $x_в$ и $x_н$ будут нужны. Дело в том, что в состав смеси обычно входят частицы постороннего сора (комки почвы, головки сорняков, обмолоченные колоски и т.п.). Построить вариационную кривую для них невозможно, но отделять необходимо. Для этой цели, в частности, часто используются решетки А, Б и Б₂ (рис. 5.41), которые подбирают так, чтобы почти все зерна основной культуры проходили через

их отверстия. Тогда все частицы крупнее x_6 будут отделены от основной культуры.

Верхние и нижние значения рабочего элемента стремятся выбрать так, чтобы лучше освободить смесь от примесей и меньшее количество семян основной культуры направить в отходы (вместе с примесями). Разумеется, до окончательных результатов, к которым приведет выбор x_6 и x_n , нельзя быть уверенным в том, что определение произведено правильно. Если очистка семян окажется неудовлетворительной (либо по засоренности, либо по уровню потерь зерна), то необходимо изменить выбранные значения x_6 и x_n так, чтобы устранить обнаруженные недостатки. После выбора x_6 и x_n по всем предполагаемым признакам разделения смеси можно приступить к расчету результатов очистки семян.

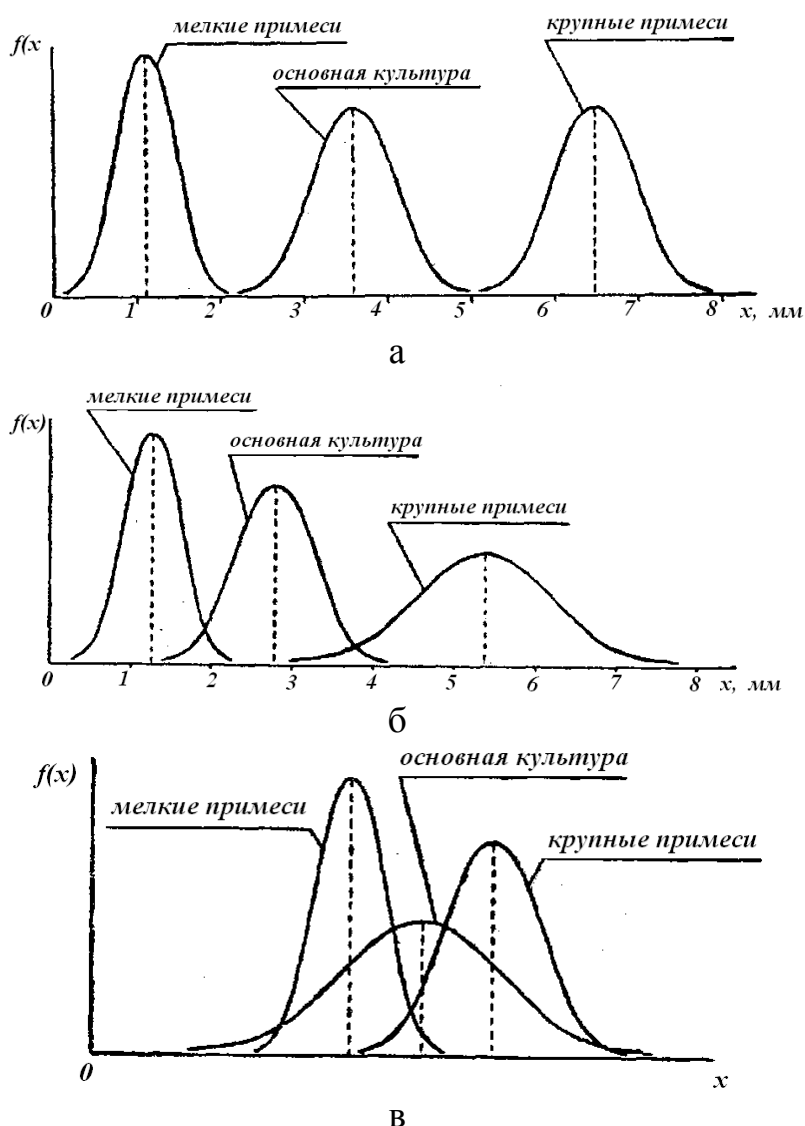


Рис. 5.39. Характерные соотношения между размерами семян основной культуры и примесей: а – вариационные кривые не пересекаются; б – частичное пересечение вариационных кривых; в – полное пересечение кривых

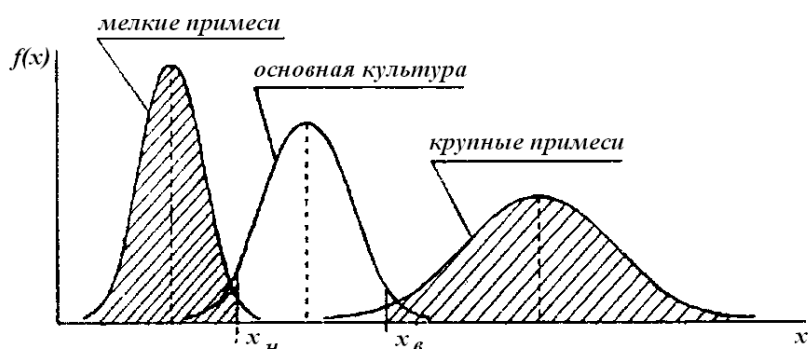


Рис. 5.40. Выбор размеров рабочих элементов, разделяющих смесь

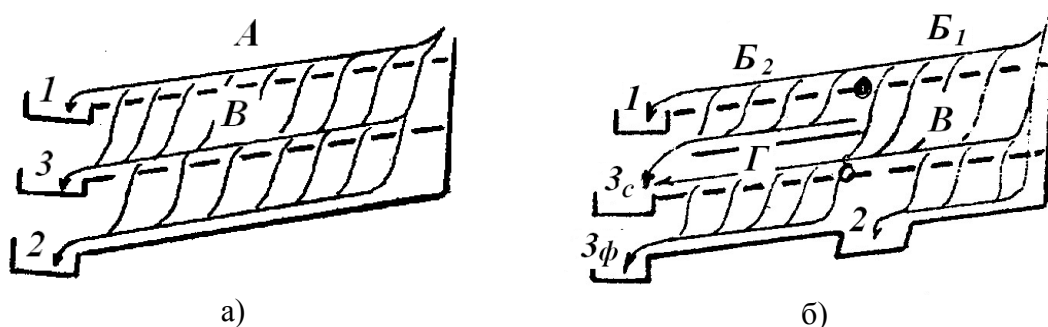


Рис.5.41. Характерные схемы расположения решет в машинах первичной (а) и вторичной (б) очистки:

1 – крупные примеси; 2 – мелкие примеси; 3 – очищенное зерно; 3с – семена, годные для посева; 3ф – фуражное зерно

Определение вероятностных характеристик очистки семян

Вероятность прохода любых компонентов в конечный продукт $P_{\text{кк}}$ может быть определена с помощью нормальной функции распределения $F(x)$ (5.80):

$$P_{\text{кк}} = F(x_v) - F(x_n) . \quad (5.76)$$

Вероятность попадания компонентов в отходы $P_{\text{ко}}$ будет равна:

$$P_{\text{ко}} = 1 - P_{\text{кк}} . \quad (5.77)$$

Разумеется, результат очистки будет зависеть и от исходного содержания каждого компонента в обрабатываемой смеси.

Пусть, например, исходный ворох состоит из основной культуры и трех видов семян сорняков (табл. 5.8).

Таблица 5.8

Состав вороха до и после обработки по выбранной схеме очистки

Состав исходного материала	Содержание компонентов		
	в исходном материале	в конечном продукте	в отходах
Основная культура	A	a	a_1
Первая примесь	B	b	b_1
Вторая примесь	C	c	c_1
Третья примесь	D	d	d_1

Содержание компонентов А, В, С и D в исходной смеси определяется при агротехническом анализе исходного вороха, а при составлении схемы считается заданным. Значения $a, a_1, b, b_1, c, c_1, d, d_1$ вычисляются, например,

$$a = 100 \cdot P_a ,$$

где P_a – вероятность попадания семян основной культуры в конечный продукт.

В свою очередь, P_a будет зависеть от вероятности прохода в конечный продукт $P_{\kappa\kappa}$ по всем признакам разделения смеси (например, при разделении на решетках с продолговатыми или круглыми отверстиями, триере и т.д.). Из теории вероятностей [38] известно, что полная вероятность независимых событий определяется произведением вероятностей:

$$P_a = \prod_{i=1}^q (P_{\kappa\kappa})_i , \quad (5.78)$$

где q – число признаков разделения семян в схеме очистки.

Естественно, что вероятность противоположного события, т.е. попадания семян, допустим, основной культуры в отходы, определится как разность:

$$P_{a1} = 1 - P_a , \quad (5.79)$$

так как полная вероятность любого события равна единице.

После определения содержания всех элементов в конечном продукте можно определить характеристики результатов очистки.

Прежде всего обычно определяют содержание семян основной культуры в конечном продукте, так как существующие требования к семенам ограничивают минимальным значением этой величины:

$$Z_a = \frac{Aa}{Aa + Bb + Cc + Dd} 100 . \quad (5.80)$$

Аналогично определяется содержание семян основной культуры в отходах (для того чтобы определить возможность использования отходов в качестве фуража):

$$Z_{1a} = \frac{Aa_1}{Aa_1 + Bb_1 + Cc_1 + Dd_1} 100 . \quad (5.81)$$

Содержание всех остальных компонентов в конечном продукте и отходах определяется так же, например, для второго компонента:

$$Z_b = \frac{Bb}{Aa + Bb + Cc + Dd} 100 , \quad (5.82)$$

$$Z_{1b} = \frac{Bb_1}{Aa_1 + Bb_1 + Cc_1 + Dd_1} 100 . \quad (5.83)$$

Государственные стандарты часто ограничивают количество семян сорняков не по процентному содержанию по формулам (5.82) и (5.83), а поштучно, т.е. по числу семян сорняков на 1 кг конечного продукта. Для определения числа семян каждого компонента можно с помощью значений

Z_a, Z_b и т.д. найти массу отдельных засорителей в конечном продукте, а затем, учитывая массу 1000 зерен каждого вида семян, и их число, например:

$$N_{\epsilon} = \left(\frac{1000Z_{\epsilon}}{100} \right) \frac{1000}{\delta_{\epsilon}} = 10000 \frac{Z_{\epsilon}}{\delta_{\epsilon}}, \quad (5.84)$$

где N_{ϵ} – число семян компонента B в 1 кг конечного продукта;

δ_{ϵ} – масса 1000 зерен компонента B .

После расчета вероятных значений N_j для всех компонентов появляется возможность определения общего количества посторонних семян N_0 в конечном продукте:

$$N_0 = \sum_{j=1}^m N_j, \quad (5.85)$$

где m – число компонентов, засоряющих конечный продукт.

Большое хозяйственное значение имеет такой показатель, как выход конечного продукта (в процентах от обрабатываемого по предложенной схеме вороха):

$$y = \frac{Aa + Bb + Cc + Dd}{100}. \quad (5.86)$$

Если результаты расчетов удовлетворяют требованиям, предъявляемым к семенам той или иной культуры, и выход конечного продукта приемлем, то с предложенной схемой очистки можно согласиться, а если нет, то следует изменить значения x_{ϵ} и x_n по тому или иному признаку разделения или ввести рабочие органы для отделения от того сорняка, который не отделится по анализируемой схеме.

Практическое использование данной модели процесса очистки семян было затруднено в связи с трудоемкостью «ручного» построения большого количества вариационных кривых. На кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА разработана компьютерная программа, с помощью которой реализация данной модели не представляет труда. В компьютер можно ввести состав исходной смеси и числовые характеристики компонентов. Если они не известны, то можно воспользоваться обширной базой данных, сформированной заранее.

В качестве примера приведена схема очистки семян ржи от сопутствующих сорняков – выюнка, гречихи, костера и василька.

Можно обратить внимание на последовательное снижение количества семян сорняков в конечном продукте с отделением сорняков по тому или иному признаку (рис. 5.42...5.46).

На экранах компьютера представлены вариационные кривые, числовые характеристики семян, результаты расчетов очистки после выбора разделительных параметров x_{ϵ} и x_n .

Если результаты расчетов не удовлетворяют агротехническим требованиям или хозяйственным условиям (например, может оказаться недостаток или избыток семян, необходимость изменения в объемах фуражной фракции и т.д.), то возможно изменение значений x_{ϵ} и x_n по любому признаку разделения смеси и повторение вычислений.

Если с помощью предложенных способов разделения зерновой смеси обеспечить агротехнические требования не удалось, то следует обратить внимание на другие физико-механические свойства компонентов исходной смеси, обеспечивающие необходимую степень очистки.

Исходная смесь		Скорость критическая, м/с			Результаты очистки		
Основная культура	%	Мер.	Б	$P(X_n < X < X_b)$	Конечный продукт	Отходы	
1. Рожь	95.0	8.80	0.90	0.99726334	97.4395		9.4
Примеси.....					Всего:	2086	
2. Вьюнок полевой	1.0	7.25	0.92	0.84910645	0.873301	1456	5.4
3. Гречишка вьюнковая	1.0	4.50	0.67	0.00360957	0.003712	9.3	36
4. Костер полевой	1.5	5.50	0.60	0.09121128	0.140715	312.7	49
5. Василек (головки)	1.5	8.65	0.22	1.00000000	1.542741	308.5	0.0

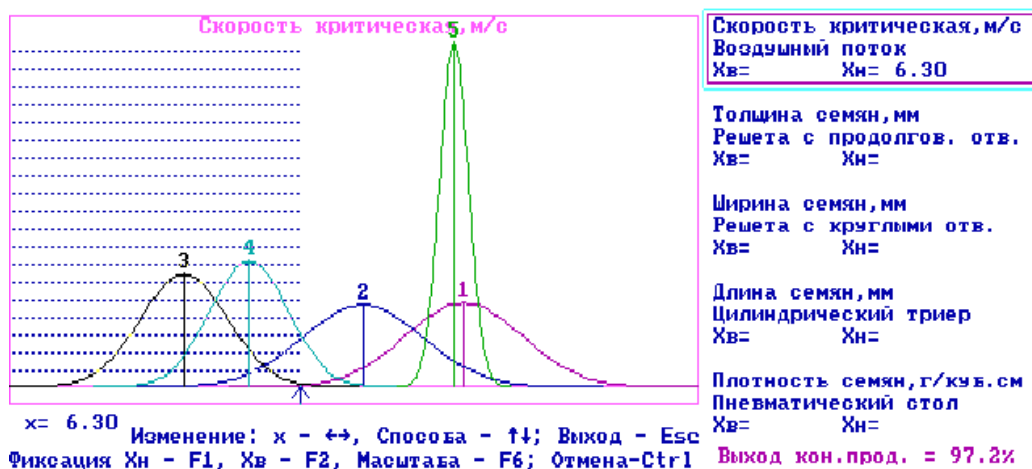


Рис. 5.42. Экран компьютера при анализе аэродинамических свойств компонентов смеси. Назначение скорости воздушного потока

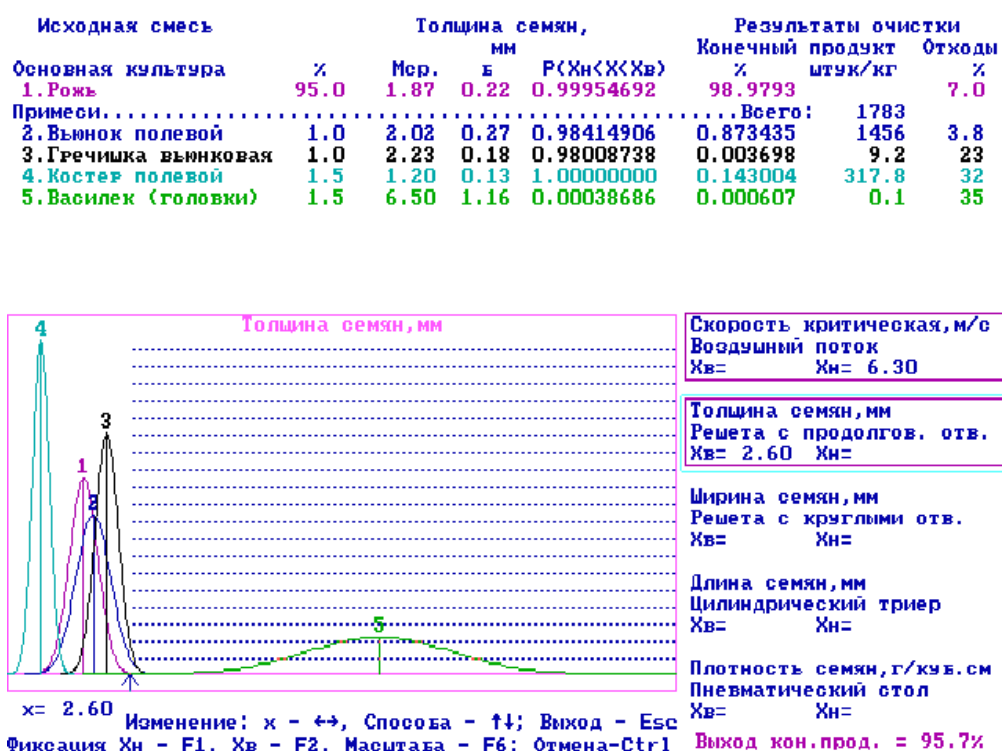


Рис. 5.43. Экран компьютера при анализе толщины семян
Назначение размера верхнего решета

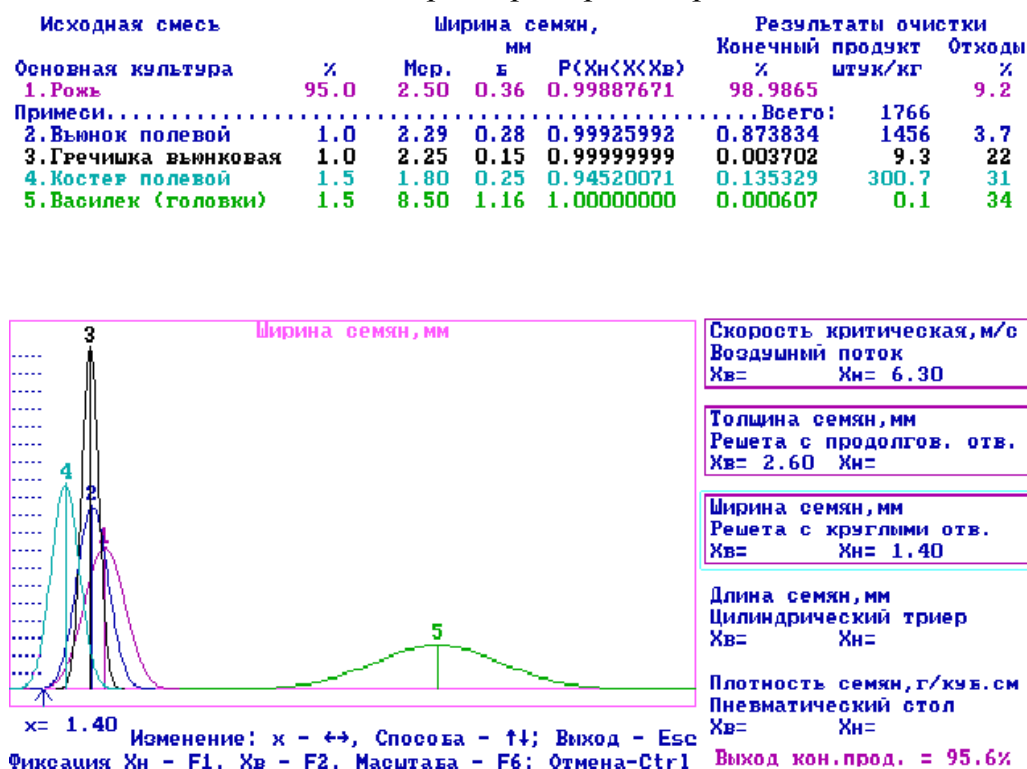


Рис. 5.44. Экран компьютера при анализе ширины семян.
Назначение размера нижнего решета

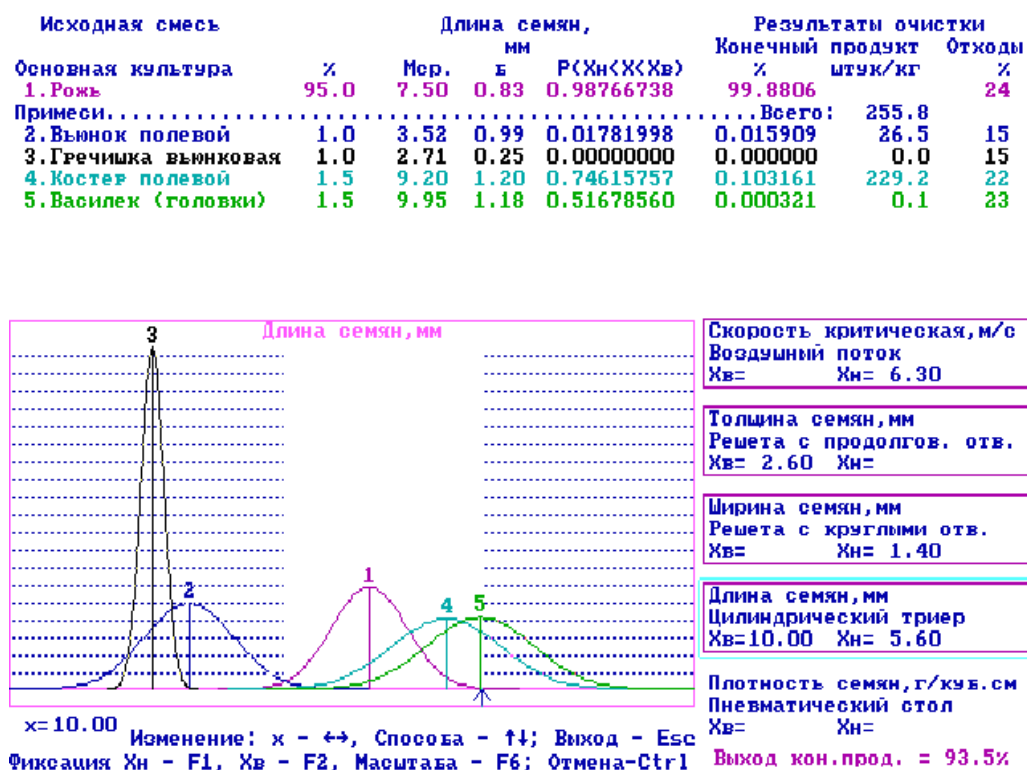


Рис. 5.45. Экран компьютера при анализе длины семян.

Назначение диаметров ячеек кукольного и овсюжного триеров

Исходная смесь		Плотность семян, г/куб.см			Результаты очистки		
Основная культура	%	Мер.	б	$P(X_n < X < X_b)$	Конечный продукт	Отходы	
1. Рожь	95.0	1.20	0.07	0.98304808	99.9994		39
Примеси.....					Всего:	0.9	
2. Вьюнок полевой	1.0	1.00	0.03	0.03451812	0.000559	0.9	12
3. Гречишка вьюнковая	1.0	1.10	0.03	0.88726694	0.000000	0.0	12
4. Костер полевой	1.5	1.00	0.02	0.00003169	0.000003	0.0	18
5. Василек (головки)	1.5	0.92	0.05	0.00255519	0.000001	0.0	18

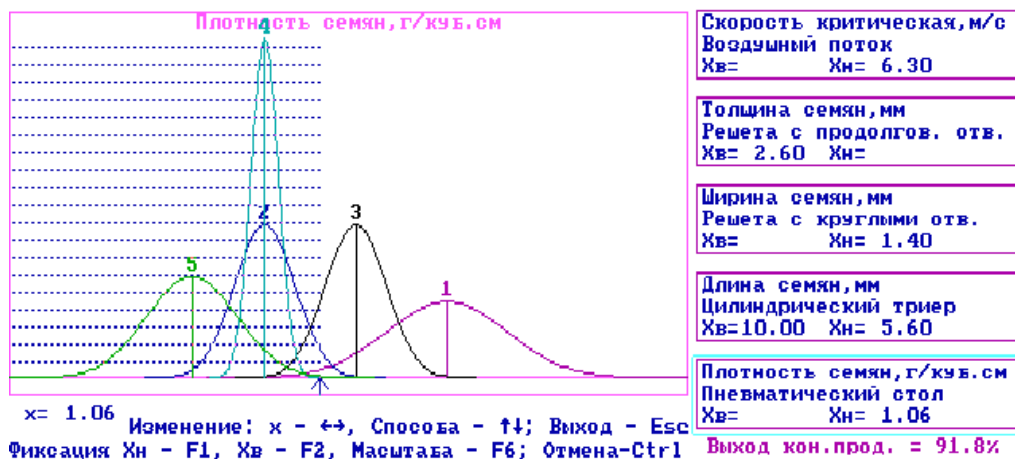


Рис. 5.46. Экран компьютера при анализе плотности семян. Назначение настроечного, разделительного значения плотности для пневмосортировального стола

На основании проведенных расчетов может быть предложена схема очистки, представленная на рис. 5.47.

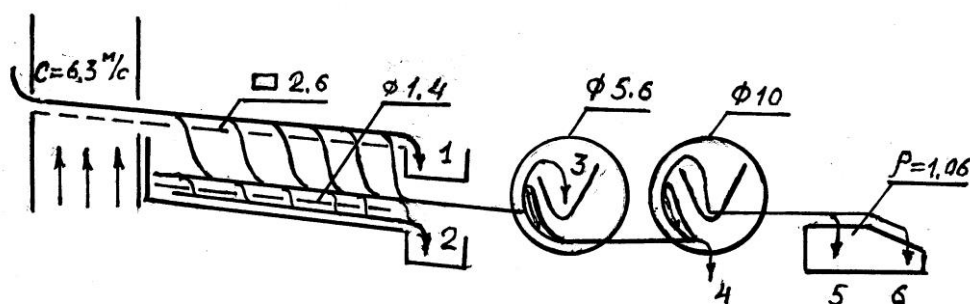


Рис. 5.47. Схема очистки семян ржи

5.5.7. Модели, основанные на разработке специальных распределений вероятностей случайных величин

В ряде случаев на практике приходится иметь дело со случайными величинами, закон распределения которых заранее неизвестен. В этом случае чаще всего прибегают к аппроксимации выборочных распределений.

Существуют и методы, позволяющие по анализу коэффициента асимметрии и эксцесса эмпирического распределения отнести его к тому или иному виду стандартных распределений.

К сожалению, этот метод очень ненадежен, поскольку даже в пределах одного, конкретного закона распределения его вид может оказаться разнообразным, в зависимости от числовых характеристик.

В теории вероятностей для этого случая рекомендуется другой путь исследования. Прежде всего, следует построить гипотетическую вероятностную модель образования данной случайной величины, а затем проверить непротиворечивость гипотезы экспериментальным данным.

В качестве примера построения такой модели может быть технологический процесс формирования густоты насаждений растений пропашных культур.

Математические модели размещения семян при пунктирном посеве и процесса формирования густоты насаждений

Практически все индустриальные технологии возделывания пропашных культур основаны на использовании пунктирного посева и механизированном формировании густоты насаждений.

Затраты труда на выращивание растений в значительной мере зависят от степени равномерности размещения растений после появления всходов и соотношения вырезанных и не вырезанных участков рядка во время прореживания. Моделирование этого сложного технологического процесса на ЭВМ может существенно облегчить выбор оптимального режима прореживания в конкретных условиях произрастания растений.

Рабочим элементом практически всех пунктирных однозерновых сеялок являются ячеистые диски с отверстиями или присосками, которые захватывают семена из бункера и подают их в сошник. Неравномерное вращение высевающих дисков, связанное с тем, что привод их осуществляется от ходового колеса, перемещающегося по неровному полю со скольжением, колебания времени выпадения семян из ячеек в связи с изменчивостью их размеров, различием траекторий движения семян и раскатывания их в бороздке приводят к тому, что расстояния между семенами оказываются случайными.

Если шаг посадки невелик, то все перечисленные факторы приводят к чисто случайному размещению семян. В этом случае последовательность семян соответствует вероятностной схеме так называемого простейшего потока событий, которая приводит к пуассоновскому распределению числа семян на отрезке.

Распределение числа семян на отрезке рядка при полной случайности (отсутствия последствия) их размещения

В самом деле, допустим, имеется некоторый участок рядка длиной t , на котором расположены семена с плотностью (средним количеством, приходящимся на единицу длины) λ (рис. 5.48).

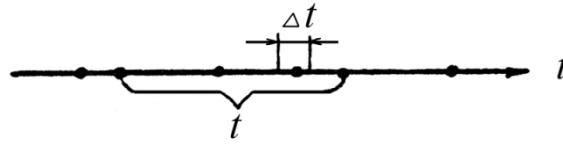


Рис. 5.48. Схема к выводу уравнения распределения числа семян на отрезке t при полностью случайном их размещении (т.н. отсутствии последствия)

Вероятность попадания одного семени на элементарный участок Δt есть $P = \lambda t$, а вероятность отсутствия семени $q = 1 - p = 1 - \lambda \Delta t$. Если разделить t на n равных частей длиной Δt , $\Delta t = t/n$, тогда $\lambda \Delta t = \lambda t/n$, а $1 - \lambda \Delta t = 1 - \lambda t/n$.

Вероятность P_{kn} того, что среди n отрезков окажется k занятых семенами на основании теоремы о повторении опытов может быть определена по биномиальному закону распределения:

$$P_{kn} = C_n^k P^k q^{n-k}.$$

После подставки значений P и q можно получить:

$$P_{kn} = C_n^k \left(\frac{\lambda t}{n} \right)^k \left(1 - \frac{\lambda t}{n} \right)^{n-k}.$$

При достаточно большом n это уравнение определит вероятность P_k попадания k семян на отрезок t . После несложных преобразований и использования формулы второго замечательного предела получится:

$$P_k = \lim_{n \rightarrow \infty} C_n^k \left(\frac{\lambda t}{n} \right)^k \left(1 - \frac{\lambda t}{n} \right)^{n-k} = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (5.87)$$

Но это закон Пуассона с параметром λt – среднее количество семян на участке t . Итак, в случае достаточно большой плотности семян в рядке λ (т.е. при малом расстоянии между семенами, когда относительное влияние всевозможных колебаний и возмущений значительно) распределение числа семян на отрезке рядка длиной t может подчиняться закону Пуассона.

Распределение промежутков между семенами при полной случайности (отсутствии последствия)

Пусть функция распределения промежутков между семенами имеет вид:

$$F(t) = P(T < t),$$

т.е. функция $F(t)$ определяет вероятность того события, что непрерывная случайная величина T промежутков между семенами окажется меньше наперед заданного значения t .

Перейдя к вероятности противоположного события

$$1 - F(t) = P(T \geq t),$$

можно найти вероятность того, что на участке рядка длиной t (рис. 5.49), начинающемся в момент появления одного из семян t_k , не появится ни одного из последующих.

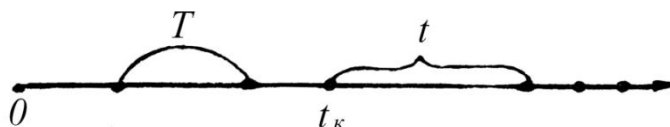


Рис. 5.49. Схема к определению уравнения распределения промежутков между семенами при отсутствии последствия

Вероятность отсутствия семян на участке t можно определить по закону Пуассона:

$$P_0 = e^{-\lambda t},$$

откуда

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (5.88)$$

Этот закон в теории вероятностей носит название *показательного распределения*, плотность которого

$$f(t) = F'(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (5.89)$$

Для пуассоновского (простейшего) потока характерным является то, что коэффициент вариации

$$V = \frac{\sigma}{m} 100 = 100\%.$$

Опыт показывает, что при больших нормах посева (когда расстояния между семенами 1,5...2 см) действительно коэффициент вариации бывает равным 100% или близким к этому значению (табл. 5.9).

При больших расстояниях между семенами коэффициент вариации уменьшается до 30...40%. Основной же особенностью пунктирных сеялок и является возможность равномерной подачи семян с малой нормой посева.

Таблица 5.9

Распределение семян на пятисантиметровых участках длины рядка при среднем расстоянии между семенами 1,8 см

Число семян на 5-см отрезке	0	1	2	3	4	5	6	6
Фактический ряд, %	8	18	24	20	14	8	6	2
Ряд, построенный по закону Пуассона, %	6,58	17,91	24,36	22,09	15,02	8,17	3,7	1,44

Посев, производимый такими аппаратами, является равномерно-изреженным, с той точки зрения, что вместо некоторого количества семян при большой норме высева в сошник подается только одно (рис. 5.50).

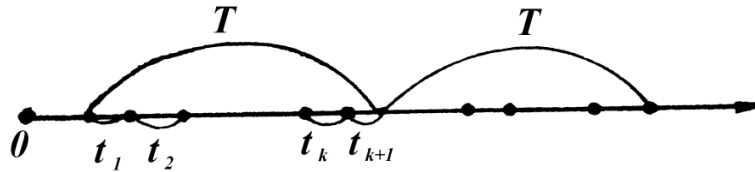


Рис. 5.50. Схема образования расстояний между семенами при пунктирном посеве

Расстояния между семенами можно представить как

$$T = \sum_{i=1}^{k+1} t_i, \quad (5.90)$$

где t_i - независимые случайные величины расстояний между событиями в пуассоновском потоке;

$k+1$ - число суммируемых отрезков.

Плотность распределения промежутков T можно найти как композицию $k+1$ отрезков пуассоновского исходного потока событий.

Для определения такой композиции удобно воспользоваться методом характеристических функций, которые являются преобразованием Фурье от функции-оригинала:

$$\varphi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{ixt} f(t) dt. \quad (5.91)$$

После подстановки $f(t)$ по уравнению (5.45) формула имеет вид:

$$\varphi(x) = \int_0^{\infty} e^{ixt} \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{\lambda}{\lambda - ix}. \quad (5.92)$$

Известно, что, если некоторая случайная величина $U(t)$ представляет собой сумму отрезков j с плотностью $f(t)$, т.е.

$$U(t) = \sum_{j=1}^{k+1} f_j(t),$$

то ее характеристическая функция равна произведению характеристических функций слагаемых:

$$\varphi_u(x) = \prod_{j=1}^{k+1} \varphi_j(x).$$

С учетом этого

$$\varphi_u(x) = \left(\frac{\lambda}{\lambda - ix} \right)^{k+1}. \quad (5.93)$$

Характеристическая функция однозначно определяет дифференциальную функцию распределения $f_k(f)$ искомой композиции:

$$\varphi_u(x) = \int_0^{\infty} e^{ixt} f_k(f) dt.$$

Решением этого интегрального уравнения является

$$f_k(t) = \frac{\lambda(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} . \quad (5.94)$$

Полученное соотношение для $f_k(f)$ известно как распределение Эрланга k -го порядка.

Если параметры исходного потока заменить соответствующими значениями «изреженного» эрланговского потока, у которого плотность равна

$$A_k = \frac{1}{m_k} = \frac{\lambda}{k+1} , \quad (5.95)$$

где m_k - среднее расстояние между семенами, то

$$f_k(t) = \frac{A_k(k+1)}{k!} [A_k(k+1)t]^k e^{-A_k(k+1)t} . \quad (5.96)$$

Численное значение параметра k можно определить на основании экспериментальных значений A_k и D_k .

$$k = \frac{1}{D_k A_k^2} - 1 . \quad (5.97)$$

При использовании этого соотношения величина k может оказаться в общем случае и дробной.

Обобщением распределения Эрланга на случай дробных значений k является гамма-распределение:

$$f_{0k}(f) = \frac{A_k(k+1)}{\Gamma(k+1)} [A_k(k+1)t]^k e^{-A_k(k+1)t} , \quad (5.98)$$

где $\Gamma(k+1)=k!$ гамма-функция.

Параметр k оказывает значительное влияние на вид распределения.

Так, если $k = 0$, то распределение (5.98) примет вид:

$$f_{0k}(f) = A_k e^{-A_k t} , \quad (5.99)$$

т. е. гамма-распределение преобразуется в показательное с дисперсией

$$D_k = 1 / A_k^2 .$$

При $k \rightarrow \infty$ дисперсия гамма-распределения примет значение:

$$D_k = \frac{1}{A_k^2(k+1)} \rightarrow 0 .$$

Иными словами, если $k \rightarrow \infty$, то распределение (5.53) опишет регулярный поток с нулевой дисперсией. В качестве примера использования гамма-распределения приведен ряд распределения семян свеклы, высеянных аппаратом пунктирной сеялки ССТ-8А.

Таблица 5.10

Распределение расстояний между семенами при пунктирном посеве
($m=33,09$ мм, $\sigma=28,32$ мм, $V=85,58\%$, $n=1132$)

Границы классов, мм	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Фактический ряд	500	286	176	83	46	22	11	5	2	1

Ряд по гамма-распределению	456,4	331,4	176,1	87,88	42,29	19,26	9,3	4,29	1,97	0,9
----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----	------	------	-----

Чередование взошедших и невзошедших семян в рядке

Распределение растений в рядке отличается от распределения семян тем, что часть семян не взойдет, и от этого расстояния между взошедшими увеличатся.

Если всхожесть семян P , а вероятность появления невзошедшего $q = 1 - P$, то вероятность того события, что вслед за взошедшим растением окажется вновь всхожее семя будет равна P , т.е. $P_0 = P$.

Вероятность появления невсхожего семени после взошедшего растения равна q , а всхожего за невсхожим – P . Следовательно, для того чтобы между двумя растениями оказалось одно невсхожее семя, необходимо одновременное появление этих событий с вероятностью q и P , тогда $P_1 = Pq$.

Продолжая аналогичные рассуждения, можно получить равенство:

$$P_2 = Pq^2; P_3 = Pq^3; \dots P_m = Pq^m. \quad (5.100)$$

В теории вероятностей закономерность (5.100) носит название *геометрического распределения*.

В качестве примера в табл. 5.11. приведены результаты опытов по определению числа невзошедших семян между двумя взошедшими в полевых условиях.

Таблица 5.11

Чередование взошедших и невзошедших семян
одноростковой сахарной свеклы

Кол-во невзошедших семян между двумя взошедшими	0	1	2	3	4	5	6	7
Фактический ряд распределения	372	161	60	21	10	2	1	2
Ряд, построенный по геометрическому распределению	377	151	60,3	24,1	9,6	3,84	1,58	0,61

Распределение расстояний между растениями после появления всходов

Если между растениями нет невзошедших семян, то расстояния между ними сохраняют закономерность семян $f_{ок}(t)$ по соотношению (5.98).

При одном невсхожем семени между двумя растениями расстояние между ними представит композицию $2(k+1)$ промежутков t_i с экспоненциальным распределением:

$$f_{1k}(t) = \frac{A_k(k+1)}{(2k+1)!} [A_k(k+1)t]^{2k+1} e^{-A_k(k+1)t} .$$

Продолжая соответствующие рассуждения, можно получить:

$$f_{2k}(t) = \frac{A_k(k+1)}{(3k+1)!} [A_k(k+1)t]^{3k+2} e^{-A_k(k+1)t} ,$$

$$f_{3k}(t) = \frac{A_k(k+1)}{(4k+3)!} [A_k(k+1)t]^{4k+3} e^{-A_k(k+1)t} ,$$

.....

$$f_{mk}(t) = \frac{A_k(k+1)}{[(m+1) \cdot k + m]!} [A_k(k+1)t]^{(m+1) \times k + m} e^{-A_k(k+1)t} . \quad (5.101)$$

Распределение растений будет содержать все перечисленные распределения:

$$f_{0k}(t); f_{1k}(t); f_{2k}(t); \dots; f_{mk}(t) .$$

Относительное количество каждого из этих распределений определяется вероятностью появления промежутка между растениями, содержащего 0,1,2,3..., m невсхожих семян, т.е.

$$f(t) = \sum_{m=1}^{\infty} P q^m f_{mk}(t) . \quad (5.102)$$

Подставляя значения $f_{mk}(t)$, получим

$$f(t) = \sum_{m=0}^{\infty} P q^m \frac{A_k(k+1)}{\Gamma[(m+1)(k+1)]} [A_k(k+1)t]^{(m+1) \times k + m} e^{-A_k(k+1)t} . \quad (5.103)$$

В качестве примера в табл. 5.12 приведены результаты проверки уравнения распределения растений в полевых условиях.

Таблица 5.12

Сравнение теоретических и фактических частот распределения растений сахарной свеклы $D=28,6 \text{ см}^2$; $m=6,45 \text{ см}$; $P=0,46$; $q=0,54$

Границы классов, см	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Фактический ряд распределения	3625	2168	810	256	130	51	20	12	5	2
Ряд, построенный по уравнению 5.103	3595	2104	806	286	127	55,8	23,8	11,37	4,7	2,2

Способы прореживания растений и статистическая характеристика длины букетов и вырезов

Прореживание всходов может быть осуществлено различными способами. Самые простые из них – боронование поперек рядков или под углом к ним, поперечная обработка культиваторами (букетировка) с различными размерами оставляемых букетов и вырезов. Обычно после этого проводят проверку букетов вручную.

С появлением вдольрядных прореживателей, которые способны работать с малыми длинами букетов и вырезов, доля ручного труда значительно сократилась, так как оставляемые растения располагались гораздо равномерней.

Вдольрядное прореживание может быть проведено по различным схемам: неуправляемое (слепое) и автоматическое (селективное).

Автоматическое, в свою очередь, может быть с постоянной длиной букета или выреза. Шаг прореживания может оставаться постоянным или изменяться, в зависимости от состояния всходов.

По данным ряда исследований, длина вырезов и букетов колеблется случайным образом в некоторых пределах, причем закон распределения этих интервалов близок к нормальному.

Среднеквадратическое отклонение длины букетов и вырезов при «слепом» прореживании находится в пределах 1...3 см, а при автоматическом 0,5...1 см (табл. 5.13).

Таблица 5.13

Числовые характеристики распределения длин вырезов
и букетов прореживателями

Показатели	Прореживатели						
	Диски пассивного действия			Ротационный		Маятниковый	
	4 лопасти сферические	4 лопасти регул-ир.	6 лопастей регул-ир.	С 6 лап-ками	С 9 лап-ками	При Z=14	При Z=16
Длина выреза							
М _{ср} , см	14,40	15,00	9,40	5,75	4,64	12,20	9,40
σ, см	2,02	2,10	1,48	0,59	0,79	4,69	3,14
V, %	14,00	14,00	15,80	10,24	17,00	38,40	33,50
Длина букета							
М _{ср} , см	13,00	12,60	10,40	17,70	11,00	14,6	7,66
σ, см	2,73	1,33	1,81	1,14	1,70	4,82	3,23
V, %	21,00	15,30	17,40	6,44	15,42	33,00	42,20

5.5.8. Имитационное моделирование (метод Монте-Карло)

Для определения результатов, к которым приведет прореживание по той или иной схеме, может быть успешным метод статистического моделирования (метод Монте-Карло). В соответствии с этим методом на ЭВМ

формируют случайные числа с равномерным распределением, а затем, с помощью тех или иных преобразований, получают величины с заданным законом распределения. Практически все современные ЭВМ имеют встроенные подпрограммы вычислений случайных чисел с равномерным распределением в интервале (0,1).

Известно, что при равномерном распределении в интервале (0,1) непрерывная случайная величина ξ имеет плотность распределения:

$$f_{\xi}(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{при } x < 0 \text{ и } x > 1 \end{cases}.$$

Математическое ожидание ξ равно $m_{\xi} = 1/2$.

Дисперсия $D = 1/12$, а $\sigma = 1/(2\sqrt{3})$.

Равномерно распределенные числа R_i могут быть преобразованы в случайные числа S_i с заданным законом распределения посредством решения интегрального уравнения:

$$\int_{-\infty}^{S_i} f(x) dx = R_i. \quad (5.104)$$

Для показательного распределения (которое лежит в основе распределения семян в рядке при пунктирном посеве)

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}.$$

Тогда в силу соотношения (5.104)

$$\lambda \int_0^{S_i} e^{-\lambda x} dx = R_i,$$

или после вычислений интеграла

$$1 - e^{-\lambda S_i} = R_i.$$

Решая это уравнение относительно S_i можно получить:

$$S_i = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - R_i). \quad (5.105)$$

Иными словами, чтобы получить случайные числа с экспоненциальным распределением, необходимо взять логарифм от $(1 - R_i)$, а поскольку эта разность представляет собой также равномерно распределенную величину, то и $\ln R_i$ будет распределен по показательному закону.

Суммируя $(k + 1)$ отрезок S_i , можно получить числа с гамма-распределением, которые будут характеризовать размещение семян в рядке:

$$L_i = \sum_{i=1}^{k+1} S_i. \quad (5.106)$$

Моделирование процесса всхожести отдельных семян представляется возможным осуществить сравнением конкретного случайного числа R_i с принятой величиной всхожести P . Если $R_i \leq P$, то семя можно считать всхожим, а если $R_i > P$ – семя можно отнести к невзошедшему.

В случае, когда такая проверка заканчивается положительно (семя всхожее), формирование интервала заканчивают, а если нет, то к сформир-

рованному уже интервалу добавляют $(k+1)$ отрезок с показательным распределением (или, что то же самое - следующий отрезок L_i), и вновь следует проверка на всхожесть.

Таким образом может быть сформирован массив чисел, характеризующих размещение растений в рядке.

В некоторых случаях преобразование случайных чисел R_i по уравнению (5.104) оказывается неэффективным. Прежде всего это случается, когда интегральное уравнение (5.104) не может быть решено точно. В частности, рассмотренный метод является неприемлемым для получения последовательности чисел, имеющих нормальное распределение. В этом случае используют приемы преобразования случайных чисел, основанные на моделировании условий, при которых оказываются справедливыми предельные теоремы теории вероятностей.

В силу центральной предельной теоремы сумма большого числа случайных слагаемых (при выполнении весьма общих условий) имеет асимптотически нормальное распределение. Иными словами, некоторая нормально распределенная случайная величина ξ (например, длина букета или выреза) может быть представлена как сумма независимых одинаково распределенных величин:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 \dots \xi_n . \quad (5.107)$$

Математическое ожидание и средне-квадратическое отклонение такой суммы равны:

$$a_c = a^* n; \quad \sigma_c = \sigma^* \sqrt{n} ,$$

где a^* , σ^* - числовые характеристики ξ_i .

Для равномерно-распределенных величин $a^* = 1/2$; $\sigma^* = 1/(2\sqrt{3})$,

тогда $a_c = n/2$ и $\sigma_c = (1/2)\sqrt{n/3}$.

Таким образом, чтобы получить случайные числа с нормальным распределением, необходимо на ЭВМ вызвать n последовательных случайных чисел R_i с равномерным распределением и просуммировать их:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i . \quad (5.108)$$

Чтобы пронормировать распределение этих чисел, каждое из чисел R нужно преобразовать:

$$\tilde{R} = (R - a_c) / \sigma_c .$$

Учитывая значения a_c и σ_c , можно записать:

$$\tilde{R} = \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{n}} \left(R - \frac{n}{2} \right) .$$

Для получения чисел R_3 , образующих последовательность с другими, заданными параметрами m_3 и σ_3 (например $m_{\text{букета}}$, $\sigma_{\text{букета}}$ или $m_{\text{выреза}}$ и $\sigma_{\text{выреза}}$) необходимо провести еще одно преобразование.

Поскольку

$$\tilde{R} = (R_3 - m_3) / \sigma_3 , \quad \text{то} \quad R_3 = \tilde{R} \sigma_3 + m_3 .$$

После подстановки значения \tilde{R} можно получить случайные числа с нормальным распределением и заданными параметрами:

$$R_3 = A \sum_{i=1}^n R_i + B, \quad (5.109)$$

где $A = 2\sigma_3\sqrt{3/n}$, $B = m_3 - An/2$.

По этому уравнению можно сформировать массив чисел, характеризующих вырезанные и невырезанные участки рядка при «слепом» и автоматическом прореживании.

Подсчет числа растений, оставшихся в букетах, и определение характеристик их размещения могут быть осуществлены обычными методами математической статистики.

Программа Пунктир (Punktir), разработанная на кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА, предусматривает формирование 5000 расстояний между семенами, моделирование чередования всхожих и невсхожих семян, моделирование участков «вырез», «невырез» по схемам «слепого» и автоматического прореживания и определение результатов прореживания (числовые характеристики, ряды распределения, многоугольники распределения).

На основе проведенных расчетов можно обоснованно выбрать схему обработки и назначить параметры технологического процесса прореживания.

Пример определения результатов имитационного моделирования формирования густоты насаждений при пунктирном посеве и прореживании растений различными методами

В компьютер введены следующие исходные данные:

Вариант «слепого» прореживания

Всхожесть семян, % - 60.

Среднее расстояние между семенами, см – 4.

Коэффициент вариации, % - 60;

Величина междурядья, см – 45;

Вы используете автоматический прореживатель ПСА 2,7(Y,N)-n;

Средняя длина букета, см – 6.

Среднеквадратическое отклонение длины букета, см – 1.

Средняя величина выреза, см - 6.

Среднее квадратическое отклонение выреза, см – 1.

Таблица 5.14

Результаты расчета при «слепом» прореживании

Характеристика	Среднее значение, m_{cp}	Среднее квадратическое отклонение, см	Число семян и растений	Длина моделируемого рядка, м	Коэффициент вариации, %
По посеву семян	4,023	2,313	3500	140,82	57,5
По всходам	6,890	5,254	2043	140,82	76,28

После прореживания	13,692	11,211	1028	140,76	81,88
По площади питания растений, см ²	615,866	351,197	-	-	57,02

В процессе расчетов сформированы следующие ряды распределения:
расстояния между семенами

Границы классов, см	0 1,82 3,64 5,46 7,28 9,09 10,91 12,73 14,55 16,37 18,19										
Частота, шт	556	1227	939	450	210	79	23	9	6	1	

Расстояния между всходами

Границы классов, см	0 5,52 11,04 16,57 22,09 27,61 33,13 38,66 44,18 49,30 55,22										
Частота, шт	1031	667	233	73	24	11	2	1	0	1	

Расстояния между растениями после прореживания

Границы классов, см	0 8,18 16,37 24,55 32,74 40,92 49,10 57,29 65,47 73,66 81,84										
Частота, шт	329	411	136	79	45	13	7	7	0	1	

Площади питания растений после прореживания

Границы классов, см	234,16 468,32 702,48 936,63 1170,79 1404,95 1639,11 1873,27 2107,43									
Частота, шт	67	322	285	185	100	38	17	6	5	2

Вариант селективного прореживания

Всхожесть семян, % - 60.

Среднее расстояние между семенами, см – 4,0.

Коэффициент вариации, % - 60.

Величина междурядья, см – 45.

Вы используете автоматический прореживатель ПСА-2,7 (Y,N)-Y.

Длина букета, см – 6.

Длина переднего ножа, см – 6.

Длина заднего ножа, см – 6.

Шаг прореживания, см – 12.

Таблица 5.15

Результаты расчета при автоматическом прореживании

Числовые характеристики	Среднее значение, m_{cp}	Среднее квадратическое отклонение, см	Коэффициент вариации, %	Длина моделируемого ряда, м	Число семян и растений
По посеву семян	3,964	2,284	57,62	3500	138,74
По всходам	6,719	5,124	76,26	2065	138,74
После прореживания	12,084	6,944	57,46	1148	138,74
По площади питания растений, $см^2$	543,916	216,878	39,87	-	-

В процессе расчетов сформированы следующие ряды распределения:
расстояния между семенами

Границы классов, см	1,66 3,32 4,99 6,65 8,31 9,97 11,63 13,29 14,96									
Частота, шт	474	1109	984	504	243	115	47	17	2	5

Расстояния между всходами

Границы классов, см	3,90 7,81 11,71 15,62 19,52 23,43 27,33 31,24 35,14									
Частота, шт	719	721	332	155	71	41	14	8	2	2

Расстояния между растениями после прореживания

Границы классов, см	4,45 8,89 13,34 17,79 22,23 26,18 31,13 35,58 40,02									
Частота, шт	262	24	327	352	117	39	15	9	2	1

Площади питания растений после прореживания

Границы классов, см	131,82 263,63 395,45 527,26 659,08 790,89 922,71 1054,52 1186,34									
---------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Частота, шт	24	59	263	187	256	213	101	31	9	4
----------------	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	----	---	---

Сравнение результатов «слепого» селективного прореживания обнаруживает, что даже при одинаковых схемах, обеспечивающих удаление половины растений, равномерность оставшихся растений после ПСА-2,7 гораздо выше (коэффициент вариации 54,46% против 81,88%).

Использование метода вычислительного эксперимента, использующего имитационные модели формирования густоты насаждений, может выявить влияние того или иного параметра технологического процесса на равномерность конечного распределения растений.

В качестве примера определено влияние шага прореживания на характеристики распределения растений.

Исходная характеристика посева семян принята одинаковой, т.е. шаг размещения семян $a = 4\text{ см}$ с коэффициентами вариации $V = 60\%$ (характерный для современных сеялок), всхожесть семян $P = 60\%$, число моделируемых расстояний между семенами $n = 3500$.

Таблица 5.16

Числовые характеристики распределения растений
после прореживания по различным схемам

Схема прореживания, см	Среднее расстояние между растениями, см	Среднеквадратическое отклонение, см	Длина моделируемого ряда, м	Число оставшихся растений, шт	Коэффициент вариации распределения растений
1	2	3	4	5	6
4x4	13,630	10,770	139,43	1023	79,00
6x6	13,692	11,211	140,76	1028	80,30
8x8	13,118	11,059	137,34	1047	84,30
10x10	13,399	11,486	140,28	1047	85,72
12x12	13,278	11,428	140,22	1056	86,06
15x15	13,300	11,805	137,92	1037	88,76
20x20	13,361	13,426	140,29	1050	100,49
25x25	13,476	14,030	141,90	1053	104,11
30x30	13,862	15,426	140,70	1015	111,28
35x35	13,403	16,228	141,14	1053	121,08
40x40	14,060	18,370	140,88	1002	130,65
45x45	13,465	18,284	140,17	1041	135,79

Результаты расчета свидетельствуют, что увеличение шага прореживания неизбежно ведет к росту коэффициента вариации, т.е. к существенному снижению равномерности распределения растений.

5.5.9. Модели, основанные на использовании теории случайных функций

Работа сельскохозяйственных агрегатов протекает, как правило, в условиях изменяющихся внешних воздействий, обусловленных многочисленными и разнообразными факторами (неровности поверхности поля, непостоянство физико-механических свойств почвы и т.д.) Случайный характер факторов, воздействующих на сельскохозяйственные машины, является основной особенностью условий их функционирования.

Все случайные возмущения, действующие на сельскохозяйственные агрегаты и их рабочие органы, непрерывно изменяются в зависимости от пути, пройденного машиной, или времени и являются, таким образом, случайными функциями.

Случайной называется такая функция, которая в результате опыта может принять тот или иной вид, причем неизвестно заранее – какой именно.

Аналогично тому, как случайную величину описывает совокупность возможных значений, с учетом частоты появления этих значений случайную функцию можно представить в виде семейства или ансамбля возможных реализаций (рис. 5.51).

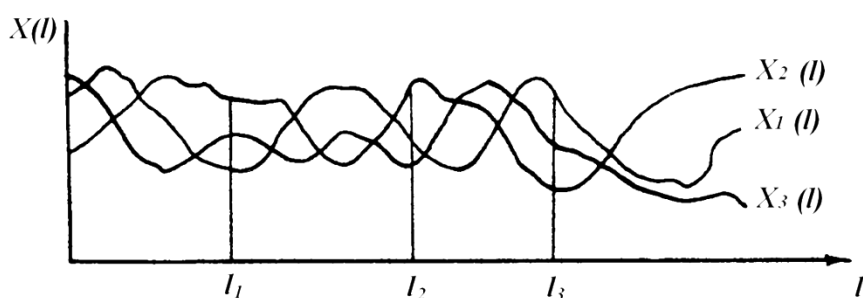


Рис. 5.51. Ансамбль реализации случайной функции

Отметим, что в каждом сечении (l_1 ; l_2 ; l_3 и т.д.) мы имеем обычные случайные величины. Случайная функция может иметь различный аргумент (длина ряда, путь, время, координаты положения и т.д.).

Если аргументом случайной функции является время, то такую функцию называют *случайным процессом*. Часто встречаются такие случайные процессы, которые имеют вид непрерывных случайных колебаний около некоторого среднего значения, причем ни средняя амплитуда, ни характер этих колебаний не обнаруживают существенных изменений с течением времени. Такие случайные процессы называют *стационарными*. (Например, профиль поверхности поля на ровном участке, колебания сошника около среднего положения, масса валка хлебной массы и т.д.). Вообще говоря, профиль поверхности поля является функцией пути, но поскольку воздействие микронеровностей на рабочие органы и агрегат в целом зависит от скорости движения агрегата, то при каждой определенной скорости движения машины изменение профиля поля считают случайным процессом. При обработке наблюдений над стационарным случайным процессом часто возникает вопрос: существенно ли необходимо располагать несколь-

кими реализациями?

Поскольку стационарный процесс протекает однородно во времени, то можно предположить, что одна единственная реализация, но большой длительности, может служить достаточным опытным материалом для получения характеристик случайной функции.

Стационарные процессы, у которых любые характеристики, полученные по ансамблю реализаций, совпадают со средним по аргументу (т.е., могут быть представлены в виде одной достаточно продолжительной реализации), называют *эргодическими*. В практике использования статистической динамики с.-х. агрегатов обычно принимают предпосылку об эргодичности случайных процессов.

Характеристики случайных функций

Пусть имеется случайный процесс $X(t)$ (рис. 5.52). Для определения математического ожидания (среднего значения) случайной функции находят среднее значение каждого сечения (t_1, t_2, t_3) и соединяют точки между собой:

$$m_x(t) = M[X(t)] .$$

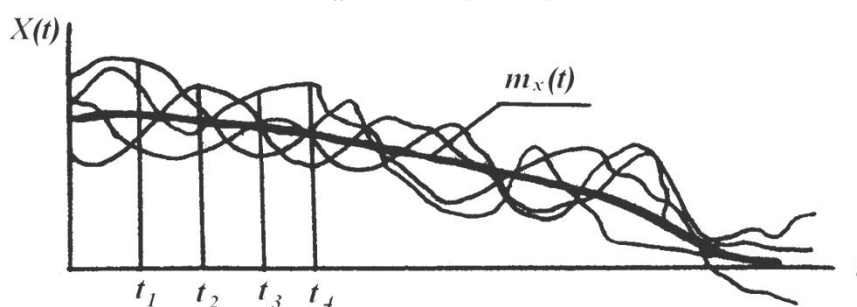


Рис. 5.52. Функция математического ожидания

Математическим ожиданием случайной функции $X(t)$ называется неслучайная функция $m_x(t)$, которая при каждом сечении аргумента t равна математическому ожиданию соответствующего сечения случайной функции.

Аналогичным образом определяется дисперсия случайной функции:

$$D_x(t) = D[X(t)] .$$

Дисперсией случайной функции $X(t)$ называется неслучайная функция $D_x(t)$, значение которой для каждого t равно дисперсии соответствующего сечения случайной функции. Дисперсия случайной функции характеризует возможный разброс отдельных реализаций относительно среднего значения.

Для стационарного случайного процесса математическое ожидание и дисперсия являются конкретными числами m_x и D_x , а не функциями.

$$m_x = \frac{1}{n} \sum x(t_i); D_x = \frac{\sum [X(t_i) - m_x]^2}{n} = \frac{\sum \dot{x}(t_i)^2}{n};$$

Если для случайных величин среднее значение и дисперсия являются исчерпывающими числовыми характеристиками, то для случайных функ-

ций это не так.

Рассмотрим две случайные функции, у которых приблизительно одинаково $m_x(t)$ и $D_x(t)$ (рис. 5.53, 5.54).

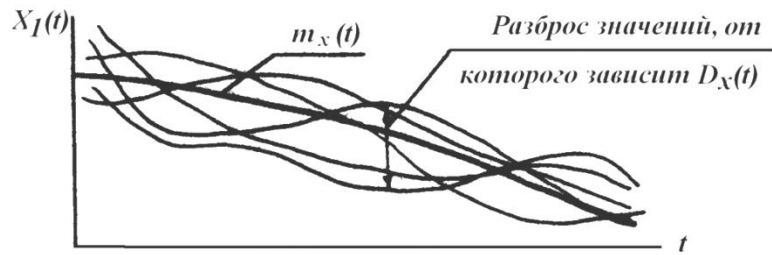


Рис 5.53. Случайная функция с плавно протекающим процессом

Если функция $X_1(t)$ имеет плавный, спокойный характер изменения ее значений, то $X_2(t)$ – резко переменный.

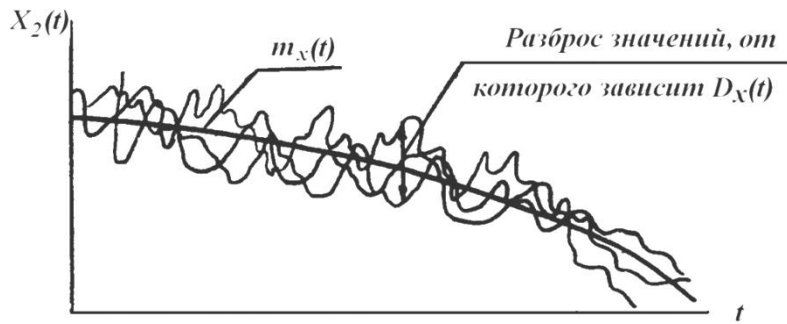


Рис. 5.54. Случайная функция с резко переменным процессом

Таким образом, внутренняя структура процесса не улавливается ни значением $m_x(t)$, ни $D_x(t)$. Для выявления структуры процесса вводится специальная характеристика, которая называется *корреляционной функцией*. Корреляционная функция характеризует связь между значениями случайной функции, относящимися к различным t (или при различном расстоянии между сечениями τ):

$$R_x(\tau) = M \left[\overset{\circ}{X}(t_i) \cdot \overset{\circ}{X}(t_i + \tau) \right], \quad (5.110)$$

т.е. корреляционной функцией случайной функции называется неслучайная функция двух аргументов $R_x(t_i, t_i + \tau)$, которая при каждой паре значений t_i и $t_i + \tau$ равна корреляционному моменту соответствующих сечений случайной функции. Для эргодического стационарного случайного процесса корреляционная функция определяется средней величиной произведения центрированных ординат, отстоящих друг от друга на расстоянии τ . Заметим, что $\overset{\circ}{X}(t)$ и $\overset{\circ}{X}(t_1 + \tau)$ – это центрированные значения случайных функций, т.е.

$$\overset{\circ}{X}(t_i) = X(t_i) - m_x(t),$$

$$\dot{X}(t_i + \tau) = X(t_i + \tau) - m_x(t).$$

В случае, когда $t_i = t_i + \tau$, т.е. $\tau = 0$, то $R_x(\tau) = D_x(t)$, так что необходимость в использовании отдельной характеристики – дисперсии случайной функции – отпадает.

Если придать τ различные значения ($0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t$) и т.д. (рис. 5.55), то после вычисления соответствующих значений $R_x(0), R_x(\Delta t), R_x(2\Delta t)$ и т.д. можно построить корреляционную функцию (рис. 5.56).

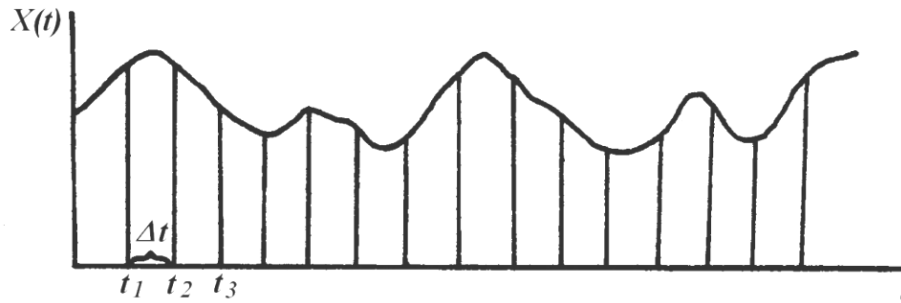


Рис.5.55. Эргодический стационарный случайный процесс

$$R_x(\tau) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} \dot{x}(t_i) \dot{x}(t_{i+m}). \quad (5.111)$$

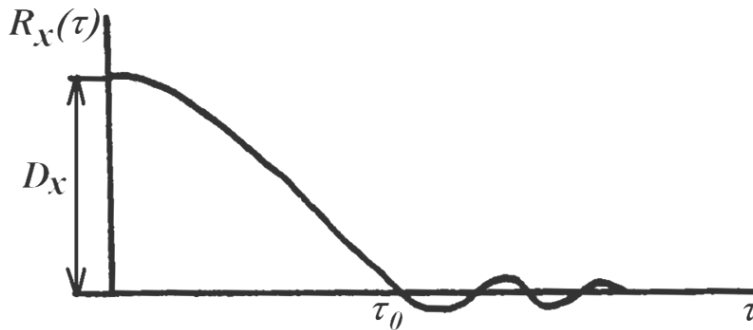


Рис. 5.56.
Корреляционная
функция

Вместо корреляционной $R_x(\tau)$ часто используют нормированную корреляционную функцию:

$$\rho_{x(\tau)} = \frac{R_x(\tau)}{\sigma_x(t_i) \sigma_x(t_i + \tau)}.$$

Поскольку для стационарного случайного процесса $m_x(t) = \text{const}$ и $D_x(\tau) = \text{const}$ (для любого сечения), то

$$\rho_{x(\tau)} = \frac{R_x(\tau)}{D_x}. \quad (5.112)$$

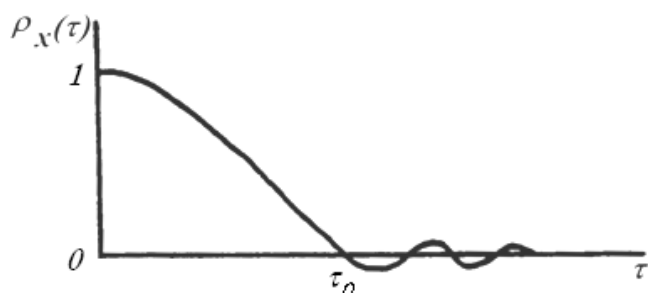


Рис. 5.57.
Нормированная
корреляционная функция

У плавно протекающих случайных функциях (типа $X_1(t)$ (рис.5.53)) расстояние τ_0 больше, чем, например, у резко переменных (типа $X_2(t)$ рис. 5.61), т.е. корреляционная функция отражает внутреннюю структуру случайного процесса.

Если случайный процесс может быть отнесен к классу стационарных, то представляется возможным по корреляционной функции получить представление о частотном составе этого процесса. Для этого производят преобразование корреляционной функции по Фурье и получают так называемую *спектральную плотность* $S(\omega)$ случайного процесса (по частотному спектру).

Корреляционная функция $R_x(\tau)$ и спектральная плотность связаны косинус-преобразованием Фурье:

$$R_x(\tau) = \int_0^{\infty} S_x(\omega) \cos \omega \tau \cdot d\omega; \quad (5.113)$$

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos \omega \tau \cdot d\tau. \quad (5.114)$$

Преобразование Фурье непосредственно связано с заменой непериодических функций рядом и интегралом Фурье. С помощью этого преобразования производят спектральное разложение функций, т.е. заменяют аperiodическую функцию суммой периодических гармоник с различными частотами.

Рассмотрим более подробно смысл спектральной характеристики $S_x(\omega)$ (рис. 5.58).

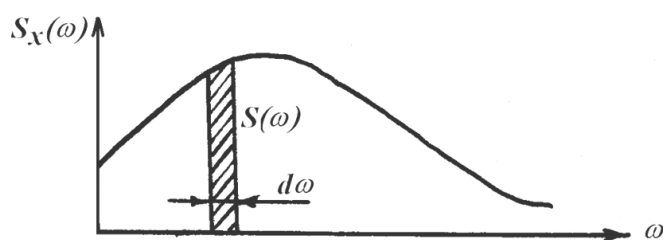


Рис. 5.58. График
спектральной
плотности $S_x(\omega)$

Прежде всего, можно отметить, что при $\tau = 0$ из уравнения

$$R_x(\tau) = \int_0^{\infty} S_x(\omega) \cos \omega \tau \cdot d\omega$$

следует

$$R_x(0) = \int_0^{\infty} S_x(\omega) d\omega,$$

т.е. площадь, ограниченная кривой $S_x(\omega)$ и осью частот ω , представляет собой дисперсию стационарного случайного процесса $X(t)$.

Для какой-либо частоты ω произведение $S_x(\omega)d\omega$ (рис. 5.58) представляет собой площадь элементарного прямоугольника, т.е. часть дисперсии, приходящуюся на элементарный участок частот $d\omega$, около частоты ω .

Таким образом, дисперсия D_x распадается на бесконечную сумму элементарных слагаемых по непрерывному спектру частот ω , иначе говоря, спектральная плотность стационарного случайного процесса описывает спектр его дисперсии по отдельным частотам. Чем более широк спектр, тем более беспорядочен случайный процесс (рис. 5.59, 5.60).

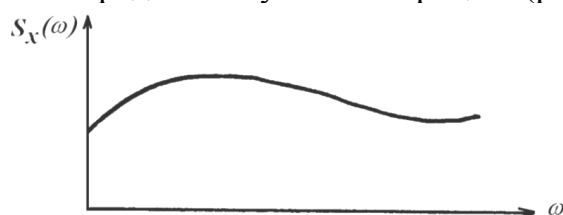


Рис. 5.59. Спектральная плотность широкополосного случайного процесса (белый шум)

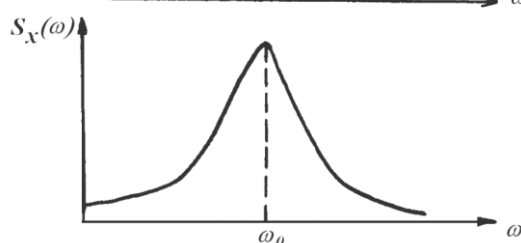


Рис. 5.60. Спектральная плотность узкополосного случайного процесса (в процессе преобладают определенные частоты)

Спектральную плотность можно определить на основе опытных значений корреляционной функции, заменяя интеграл Фурье

$$S_x(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau$$

конечной суммой

$$S_x(\omega) = \frac{2\Delta t}{\pi} \sum R(i\Delta t) \cos(\omega_k i\Delta t), \quad (5.115)$$

где $m = \frac{\tau}{\Delta t}$ - расчетное количество точек корреляционной функции;

k - порядковый номер коэффициента спектральной плотности.

Совершенно аналогично можно получить и нормированную спектральную плотность:

$$\sigma_x = S_x(\omega) / D_x.$$

В этом случае

$$\sigma_x = \frac{2\Delta t}{\pi} \sum_{i=0}^m \rho(i\Delta t) \cos(\omega_k i\Delta t). \quad (5.116)$$

Обычно задаются значениями ω , например, $\omega_0 = 0$; $\omega_1 = 1$; $\omega_2 = 2$; и т.д.

При ограниченном числе коэффициентов спектральной плотности шаг изменения ω определяют по соотношению $\Delta\omega = \pi / \Delta t$.

Числовой пример, иллюстрирующий методику расчета характеристик, основан на использовании данных, полученных при испытаниях картофеле-сажалки КСМ-4 в полевых условиях. На осциллографную бумагу записаны случайные процессы изменения профиля поверхности поля, профиля дна борозды, глубины заделки клубней, колебаний сошников сажалки и заделывающих дисков при различных скоростях движения агрегата (рис. 5.61).

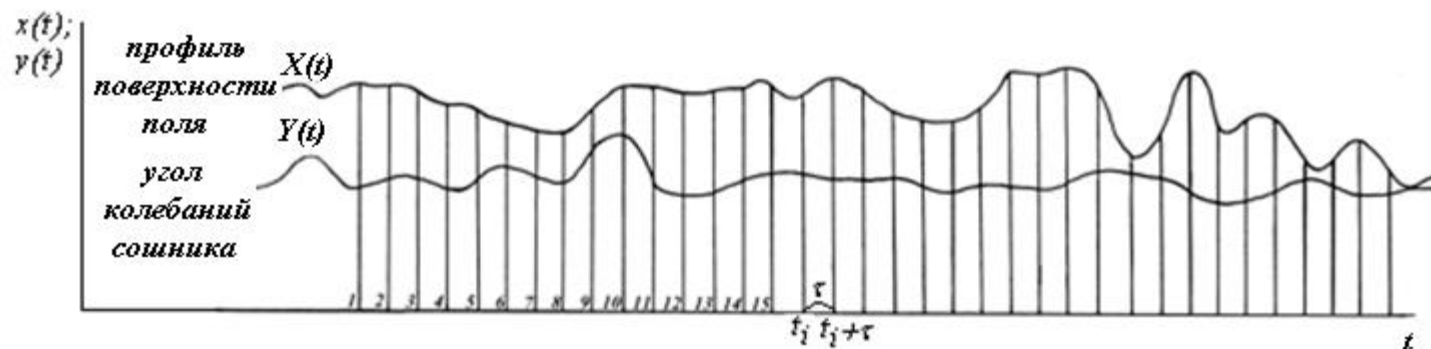


Рис. 5.61. Синхронная запись входного $X(t)$ и выходного $Y(t)$ процессов

Таблица 5.17

Расчет коэффициентов корреляционной функции

№ п/п	$x(t_i)$	$x(t_i)$	$[x(t_i)]^2$	$x(t_i) - x(t_i+1)$	$x(t_i) - x(t_i+2)$	$x(t_i) - x(t_i+3)$	$x(t_i) - x(t_i+4)$
1	47	4	16				
2	47	4	16	16			
3	46	3	9	12	12		
4	42	-1	1	-3	-4	-4	
5	42	-1	1	1	-3	-4	-4
6	38	-5	25	5	5	-15	-20
7	37	-6	36	30	6	6	-18
8	37	-6	36	36	30	6	6
9	42	-1	1	6	6	5	1
10	48	5	25	-5	-30	-30	-25
Σ	426		166	98	22	-36	-60
$R_x(\tau)$			16,6	0,89	2,75	-5,14	-10
$\rho_x(\tau)$			1	0,656	0,165	-0,310	-0,602

Измерение ординат профиля поверхности поля проверено с шагом квантования $\Delta t = 0,1$ с – по линиям отметчика времени осциллографа. Первый десяток измерений внесен в табл. 5.17, с помощью которой иллюстрируется порядок расчета коэффициентов корреляционной функции. Разумеется, что столь малое число измерений приведет к большим ошибкам в определении характеристик случайной функции и может быть оправдано лишь методическими соображениями.

В последующем расчет коэффициентов корреляционной функции и спектральной функции и спектральной плотности предусматривается определить с помощью ЭВМ по большому массиву ординат.

В табл. 5.17 расчет коэффициентов проведен следующим образом:

$$m_x = \frac{\sum_{i=1}^n x(t_i)}{n} = \frac{426}{10} = 42,6 = 43 \text{ мм};$$

$$\overset{\circ}{x}(t_i) = x(t_i) - m_x;$$

$$D_x = \frac{\sum_{i=1}^n [\overset{\circ}{x}(t_i)]^2}{n} = \frac{166}{10} = 16,6 \text{ мм}^2;$$

$$R_x(0) = D_x = 16,6 \text{ мм}; \quad \rho_x(\tau) = 1;$$

$$R_x(\tau) = \frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^{n-m} \overset{\circ}{x}(t_i) \overset{\circ}{x}(t_{i+m}); \quad \rho_x(\tau) = \frac{R_x(\tau)}{D_x};$$

$$R_x(0,1) = \frac{98}{9} = 10,89; \quad \rho_x(0,1) = \frac{10,89}{16,6} = 0,656;$$

$$R_x(0,2) = \frac{22}{8} = 2,75; \quad R_x(0,2) = \frac{2,75}{16,6} = 0,165;$$

$$R_x(0,3) = \frac{-36}{7} = -5,14; \quad R_x(0,3) = \frac{-5,14}{16,6} = 0,310;$$

$$R_x(0,4) = \frac{-60}{6} = -10; \quad R_x(0,4) = \frac{-10}{16,6} = 0,602.$$

При обработке массивов данных с большим числом измерений часто под сомнением остается вопрос о соблюдении условий стационарности исследуемого процесса. Чтобы исключить возможность влияния нестационарности на характеристики случайных функций, прибегают к фильтрации исходных данных. Для этой цели центрирование ординат проводят не относительно m_x , а около текущего, непрерывно изменяющегося значения $m_x(t_i)$, которое вычисляется по $M1$ ординатам, симметричным относительно t_i . Число ординат $M1$, по которым определяется текущее значение средней высоты, называют *объемом фильтра*, *размером* или *памятью фильтра*. Обычно $M1$ не превышает $0,1N$, но в каждом исследовании выбор $M1$ должен быть проанализирован, так как при фильтрации возможна потеря информации о низкочастотных колебаниях процесса.

Помимо определения корреляционной функции и спектральной плотности отдельно входного или выходного процессов можно находить значения взаимной корреляционной функции и спектральной плотности этих процессов:

$$R_{xy}(\tau) = M \left[\overset{\circ}{x}(t_i) \cdot \overset{\circ}{y}(t_i + \tau) \right], \quad (5.117)$$

т.е. взаимная корреляционная функция определяется математическим ожиданием средней величины произведения нормированных ординат входного и выходного процессов, отстоящих друг от друга на расстоянии τ (рис.5.59).

Так как $R_{xy}(\tau)$ не является четной функцией, то ее нужно вычислять не только для положительных, но и для отрицательных значений:

$$R_{xy}(-\tau) = M \left[\overset{\circ}{x}(t_i - \tau) \cdot \overset{\circ}{y}(t_i) \right], \quad (5.118)$$

или, что то же самое,

$$R_{yx}(\tau) = M \left[\overset{\circ}{y}(t_i) \cdot \overset{\circ}{x}(t_i + \tau) \right]. \quad (5.119)$$

Вычисление нормированных оценок взаимной корреляционной функции производится по уравнениям:

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y (N - m)} \sum_{i=1}^{N-m} \overset{\circ}{x}(t_i) \cdot \overset{\circ}{y}(t_i + \tau), \quad (5.120)$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y (N - m)} \sum_{i=1}^{N-m} \overset{\circ}{y}(t_i) \cdot \overset{\circ}{x}(t_i + \tau), \quad (5.121)$$

где N – число ординат в анализируемой реализации случайного процесса;

m – число коэффициентов корреляционной функции.

В отличие от взаимной корреляционной функции обычную, определяемую по уравнению (5.110), иногда называют автокорреляционной и обозначают $R_{xx}(\tau)$ или $\rho_{xx}(\tau)$.

Для конкретной реализации стационарных случайных процессов $X(t)$ и $Y(t)$ взаимная спектральная плотность $\sigma_{xy}(\omega)$ определяется как прямое преобразование Фурье корреляционной функции:

$$S_{xy} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau. \quad (5.122)$$

Взаимная спектральная плотность является комплексной функцией аргумента – частоты ω , поэтому

$$S_{xy}(\omega) = S_{xy}^e + iS_{xy}^M, \quad (5.123)$$

где S_{xy}^e и S_{xy}^M – соответственно, вещественная и мнимая части взаимной спектральной плотности.

Поскольку в соответствии с известной формулой Эйлера

$$e^{i\omega t} = \cos \omega t + i \sin \omega t,$$

вещественная часть S_{xy}^e вычисляется как косинус-преобразование, а мнимая

S_{xy}^M – синус-преобразование Фурье:

$$S_{xy}^e = \left[\rho_{xy}(0) + \sum_{i=1}^m (\rho_{xy} + \rho_{yx}) \cos \Delta\omega \cdot \Delta t \right] \frac{\Delta t \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}{\pi}, \quad (5.124)$$

$$S_{yx}^M = \left[\sum_{i=1}^m (\rho_{xy} - \rho_{yx}) \sin \Delta\omega \cdot \Delta t \right] \frac{\Delta t \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}{\pi}, \quad (5.125)$$

где Δt – промежуток времени между двумя соседними ординатами в реализации изучаемого случайного процесса;

$\Delta\omega$ – шаг изменения частоты ω ; $\Delta\omega = \pi / (m+1) \Delta t$.

Нормированная взаимная спектральная плотность определяется по формуле:

$$\sigma_{xy}(\omega) = S_{xy} / \sigma_x \sigma_y, \quad (5.126)$$

где σ_x и σ_y – среднеквадратическое отклонение реализации случайных процессов.

Особо важное значение, отводимое определению спектральной плотности случайного процесса, связано с тем, что ее широко используют при изучении преобразования входных, возмущающих случайных функций, линейными динамическими системами сельскохозяйственных машин.

5.5.10. Информационные модели

Моделирование таких сложных динамических систем, как сельскохозяйственные машины и агрегаты, функционирующих в непрерывно изменяющихся условиях, представляет собой достаточно сложную задачу.

Аналитическое решение, даже при значительной идеализации, часто приводит к очень громоздким построениям, затрудняющим практическое использование, а иногда вообще невозможно.

Эффективным методом в таких случаях может стать построение информационных моделей. Смысл метода состоит в том, что объект моделирования представляют в виде некоторого оператора A или W («черного ящика»), а его свойства определяют по соотношению входных $X(t)$ воздействий и выходных $Y(t)$ параметров (рис.5.2). О принципиальной возможности такого подхода при неслучайных, стандартных воздействиях (единичных скачков, гармонических колебаний) уже было указано ранее. Осуществить такие воздействия обычно удастся лишь на отдельные рабочие органы.

Свойства оператора W для сложных машин и агрегатов приходится определять по соотношению входных и выходных параметров, представляющих собой случайные функции.

Так, пусть на вход линейной динамической системы (т.е., например, механической системы, описываемой линейными дифференциальными уравнениями) поступает стационарная случайная функция $X(t)$, а реакция системы представляет собой случайную функцию $Y(t)$ (рис. 5.62). Например, сошник сажалки перемещается по полю, микронеровности которого

описываются случайной функцией $X(t)$. В качестве выходной $Y(t)$ можно рассматривать глубину бороздки.



Рис. 5.62. Схема одномерной модели преобразования входных возмущающих функций линейной динамической системой

Поскольку характеристиками случайных функций являются неслучайные функции $m_x(t)$, $R_x(\tau)$, $S_x(\omega)$ и $m_y(t)$, $R_y(\tau)$, $S_y(\omega)$, то, прежде всего, можно рассмотреть задачу об определении реакции системы на неслучайные воздействия $f(t)$.

При анализе характеристик линейных динамических систем было отмечено, что при воздействии на нее стандартными возмущениями (допустим, в виде гармонических колебаний определенной частоты), реакцией системы оказываются колебания с той же частотой, но с измененной амплитудой и сдвигом фаз.

Например, уравнения малых колебаний сошника сеялки (5.26) в терминах «вход» $x(t)$ и «выход» $y(t)$ может быть записано в виде:

$$T_1^2[y(t)]'' + T_2[y(t)]' + y(t) = k \cdot x(t) ,$$

где T_1 , T_2 и k – соответственно, инерционный, демпфирующий коэффициенты и коэффициент усиления.

Реакцию на входную гармонику

$$x(t) = e^{i\omega t}$$

можно представить тоже в виде гармонического колебания, но умноженно-го на некоторый комплексный множитель:

$$y(t) = \Phi(i\omega)e^{i\omega t} . \quad (5.127)$$

Для определения того, что представляет собой этот комплексный множитель $\Phi(i\omega)$ необходимо значения $y(t)$ и $x(t)$ подставить в линейное дифференциальное уравнение:

$$T_1^2[\Phi(i\omega) \cdot e^{i\omega t}]'' + T_2[\Phi(i\omega) \cdot e^{i\omega t}]' + \Phi(i\omega) \cdot e^{i\omega t} = k \cdot e^{i\omega t} .$$

После дифференцирования, деления правой и левой части на $e^{i\omega t}$ и вынесения за скобки комплексного множителя $\Phi(i\omega)$ можно получить:

$$\Phi(i\omega)[T_1^2(i\omega)^2 + T_2(i\omega) + 1] = k$$

откуда

$$\Phi(i\omega) = \frac{k}{T_1^2(i\omega)^2 + T_2(i\omega) + 1} . \quad (5.128)$$

Но это не что иное, как частотная функция линейной динамической системы $W(i\omega)$ (5.30).

Таким образом, если на вход линейной динамической системы поступают гармонические колебания вида $e^{i\omega t}$, то на выходе окажутся гармонические колебания того же вида, умноженные на частотную характеристику системы.

Следует напомнить, что частотная функция как комплексное число

(рис. 5.27) может быть представлена в виде вектора с модулем $A(\omega)$ и угла сдвига фаз $\varphi(\omega)$.

Спектральную плотность входного и выходного случайных процессов, как было уже отмечено, представляет собой разложение дисперсии по отдельным частотам (рис. 5.58).

Произведение любой ординаты $S_x(\omega)$ на $d\omega$ геометрически может представлять собой прямоугольник, составляющий часть дисперсии D_x , т.е. определяет вклад в общую дисперсию колебаний системы с частотой ω .

Каждой гармонике входного процесса можно привести в соответствие выходное колебание с той же частотой, но измененное по амплитуде и сдвинутое по фазе, или в общем случае умноженное на частотную функцию $W(i\omega)$ по уравнению (5.30) или равную ей $\Phi(i\omega)$.

Если связать все элементарные участки дисперсии $S_x(\omega) \cdot dt$ входной и выходной функций спектральной плотности, то можно получить

$$S_y(\omega) = [A(\omega)]^2 \cdot S_x(\omega), \quad (5.129)$$

так как дисперсия определяется квадратом случайной величины, а в данном примере – модулем амплитудно-частотной характеристики.

Определение коэффициентов передаточных и частотных функций на основе экспериментальных данных

Достаточно наглядным примером может быть продолжение исследования колебаний сошника.

Уравнение (5.129) может явиться основой для построения экспериментальной кривой:

$$[A(\omega)]^2 = \frac{S_y(\omega)}{S_x(\omega)}.$$

Поскольку уравнение частотной функции сошниковой группы известно (5.38),

$$W(i\omega) = \frac{k}{T_1^2(i\omega)^2 + T_2(i\omega) + 1},$$

то квадрат модуля частотной функции вычисляют по формуле:

$$[A(\omega)]^2 = \frac{k^2}{(1 - T_1^2\omega^2)^2 + T_2^2\omega^2}. \quad (5.130)$$

Если на экспериментальной кривой квадрата модуля частотной функции взять значения $A = [A(\omega_1)]^2$ и $B = [A(\omega_2)]^2$ для двух значений частот ω_1 и ω_2 , а также определить k при $\omega = 0$, то для определения коэффициентов передаточной функции необходимо решить систему уравнений второго порядка:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{k^2}{[1 - T_1^2 \omega_1^2]^2 + (T_2 \omega_1)^2} \\ B &= \frac{k^2}{[1 - (T_1^2 \omega_2^2)]^2 + (T_2 \omega_2)^2} \end{aligned} \right\}$$

$$B - 2BT_1^2 \omega_2^2 + BT_1^4 \omega_2^4 + 2BT_1^2 \omega_2^2 - BT_1^4 \omega_1^2 \cdot \omega_2^2 + \frac{B(k^2 - A)\omega_2^2}{A\omega_1^2} = k^2,$$

$$BT_1^4 \omega_2^2 (\omega_2^2 - \omega_1^2) = k^2 - B - \frac{B(k^2 - A)\omega_2^2}{A\omega_1^2},$$

$$T_1^4 = \frac{A\omega_1^2 (k^2 - B) + B\omega_2^2 (A - k^2)}{AB\omega_1^2 \omega_2^2 (\omega_2^2 - \omega_1^2)},$$

$$T_1^2 = \sqrt{T_1^4}, \quad T_1 = \sqrt{T_1^2},$$

$$T_2^2 = 2T_1^2 - T_1^4 \omega_1^2 - \frac{A - k^2}{A - \omega_1^2}; \quad T_2 = \sqrt{T_2^2}.$$

После определения k , T_1 и T_2 находят теоретическое значение функции $[A(\omega)]^2$ по уравнению (5.130). Если теоретическая и экспериментальная кривые достаточно близки друг к другу, то коэффициенты передаточной функции можно считать определенными. В случае значительного отличия теоретической и экспериментальной кривых, берут другие значения A и B , и повторяют расчет.

Опыт определения коэффициентов данным методом показал, что ошибки при этом оказываются большими, и он рекомендуется лишь для тех случаев, когда $X(t)$ и $Y(t)$ слабо коррелированы. При достаточно высоком уровне корреляции между входными и выходными процессами одномерной модели экспериментальные значения амплитудно-частотной характеристики рекомендуется вычислять по выражению:

$$A(\omega) = \sqrt{[S_{xy}^e(\omega) / S_x(\omega)]^2 + [S_{xy}^M(\omega) / S_x(\omega)]^2},$$

а коэффициент усиления –

$$k = \frac{S_{xy}(0)}{S_{xx}(0)}.$$

В этом случае экспериментальные значения A , B , ω_1 , ω_2 необходимо взять на кривой, построенной по уравнению (5.130).

Если в результате расчета окажется, что по соотношению T_1 и T_2 сошник будет представлять собой колебательное звено ($T_2 < 2T_1$), то необходимо изменить его параметры (момент инерции, силу сжатия пружины, размеры) так, чтобы перевести в апериодическое звено второго порядка. Зависимости коэффициентов от параметров конструкций, полученные при выводе уравнения малых колебаний сошников, позволяют провести целенаправленное изменение коэффициентов передаточной функции.

Следует отметить, что представленная методика расчета в определенной мере является упрощенной, так как ограничена рамками учебного пособия.

Тем, кто желает ознакомиться с деталями расчетов, например, с обоснованием функций спектральной плотности, аппроксимацией корреляционных функций и функций спектральной плотности и т.д., рекомендуется обратиться к специальным источникам [23], [24], [41], [42].

Расчет характеристик случайных функций профиля поверхности поля и колебаний сошника может быть выполнен по программе «Сеялка (Sejalka)», разработанной на кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА.

Результаты расчета могут быть использованы для определения коэффициентов передаточной и частотной функции.

Фрагмент результатов одного из расчетов приводится в качестве примера.

Профиль поверхности поля является случайным и может быть охарактеризован корреляционной функцией и функцией спектральной плотности.

Случайная функция, описывающая свойства поля при движении по нему агрегата с заданной скоростью, на основании опытных данных может принять следующий вид $X(t)$.

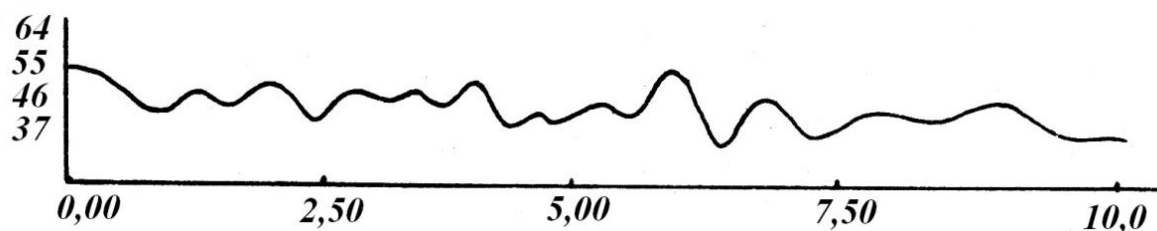


Рис.5.63. Случайная функция $X(t)$, характеризующая профиль поверхности поля

Обработка случайной функции $X(t)$

Среднее без фильтрации 46,68.

Дисперсия без фильтрации 25,20.

Дисперсия с фильтрацией 19,2300.

Коэффициенты корреляционной функции

Без фильтрации ординат

$R(0) = 1,00000$

$R(1) = 0,74239$

$R(2) = 0,31673$

$R(3) = -0,00152$

$R(4) = -0,12343$

С фильтрацией ординат

$R(0) = 1,00000$

$R(1) = 0,59493$

$R(2) = -0,07851$

$R(3) = -0,52994$

$R(4) = -0,57853$

$R(5) = -0,05992$
 $R(6) = -0,00254$
 $R(7) = -0,03228$
 $R(8) = -0,07674$
 $R(9) = -0,7182$

$R(5) = -0,25518$
 $R(6) = 0,05167$
 $R(7) = 0,13338$
 $R(8) = 0,09256$
 $R(9) = 0,05775$

Коэффициенты спектральной плотности

Без фильтрации ординат

$C(0,00) = 1,10764$
 $C(3,14) = 0,13200$
 $C(6,28) = 0,11389$
 $C(9,42) = 0,09075$
 $C(12,57) = 0,05994$
 $C(15,71) = 0,03092$
 $C(18,85) = 0,03771$
 $C(21,99) = 0,03354$
 $C(25,13) = 0,03585$
 $C(28,27) = 0,03110$

С фильтрацией ординат

$C(0,00) = 0,03108$
 $C(3,14) = 0,05016$
 $C(6,28) = 0,04874$
 $C(9,42) = 0,15975$
 $C(12,57) = 0,06959$
 $C(15,71) = 0,03443$
 $C(18,85) = 0,03555$
 $C(21,99) = 0,03922$
 $C(25,17) = 0,03341$
 $C(28,27) = 0,03475$

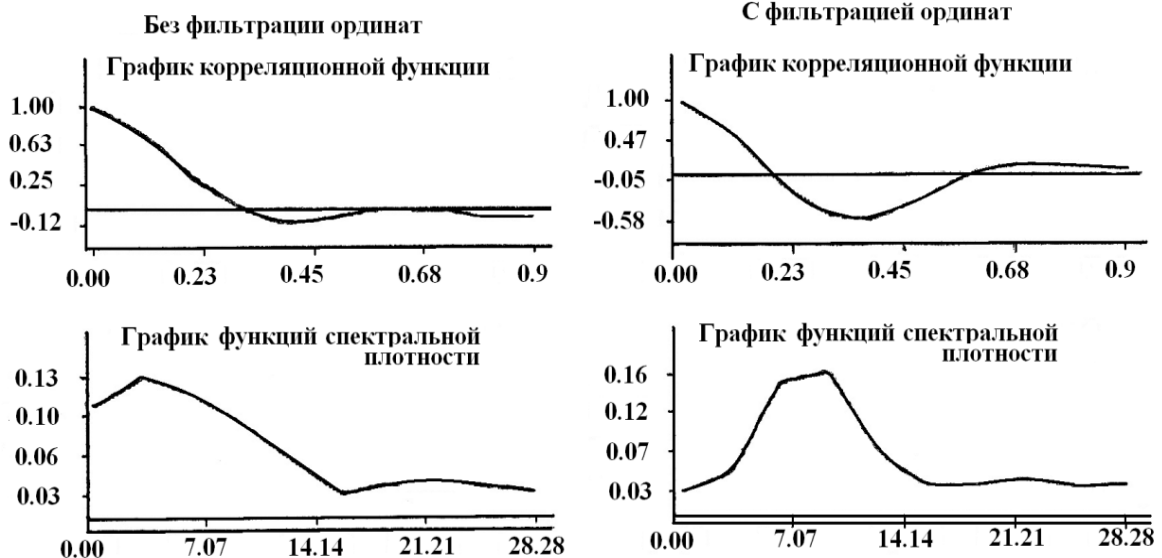


Рис. 5.64. Характеристика случайной функции $X(t)$

Синхронная запись колебаний сошника по рассмотренному профилю поверхности поля определила случайный процесс $Y(t)$.

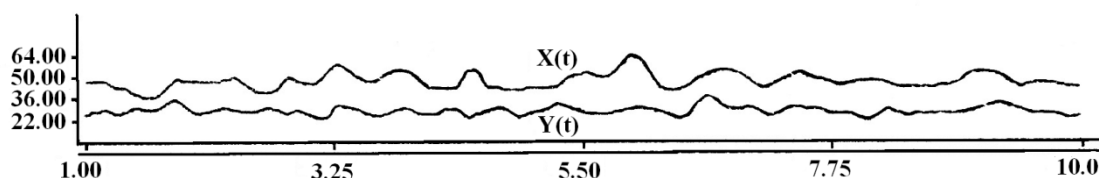


Рис.5.65. Синхронная запись колебаний сошника по рассмотренному профилю поверхности поля

Характеристики этого процесса и вычисления взаимной корреляционной функции спектральной плотности оказываются следующими:

Обработка случайной функции Y

Среднее без фильтрации 27,35.

Дисперсия без фильтрации 8,03.

Дисперсия с фильтрацией 6,9543.

Коэффициенты корреляционной функции

Без фильтрации ординат

$R(0) = 1,00000$
 $R(1) = 0,56608$
 $R(2) = 0,02969$
 $R(3) = -0,13416$
 $R(4) = -0,04625$
 $R(5) = 0,01165$
 $R(6) = -0,03165$
 $R(7) = 0,00140$
 $R(8) = 0,07084$
 $R(9) = 0,11047$

С фильтрацией ординат

$R(0) = 1,00000$
 $R(1) = 0,44845$
 $R(2) = -0,27045$
 $R(3) = -0,53675$
 $R(4) = -0,37743$
 $R(5) = -0,10930$
 $R(6) = 0,02732$
 $R(7) = 0,13662$
 $R(8) = 0,22792$
 $R(9) = 0,25052$

Коэффициенты спектральной плотности

Без фильтрации ординат

$C(0,00) = 1,10046$
 $C(3,14) = 0,08377$
 $C(6,28) = 0,10637$
 $C(9,42) = 0,09048$
 $C(12,57) = 0,07784$
 $C(15,71) = 0,06535$
 $C(18,85) = 0,03606$
 $C(21,99) = 0,03997$
 $C(25,13) = 0,03294$
 $C(28,27) = 0,03874$

С фильтрацией ординат

$C(0,00) = 0,05073$
 $C(3,14) = 0,01682$
 $C(6,28) = 0,13169$
 $C(9,42) = 0,14249$
 $C(12,57) = 0,08637$
 $C(15,71) = 0,06962$
 $C(18,85) = 0,03156$
 $C(21,99) = 0,04614$
 $C(25,17) = 0,03003$
 $C(28,27) = 0,04325$

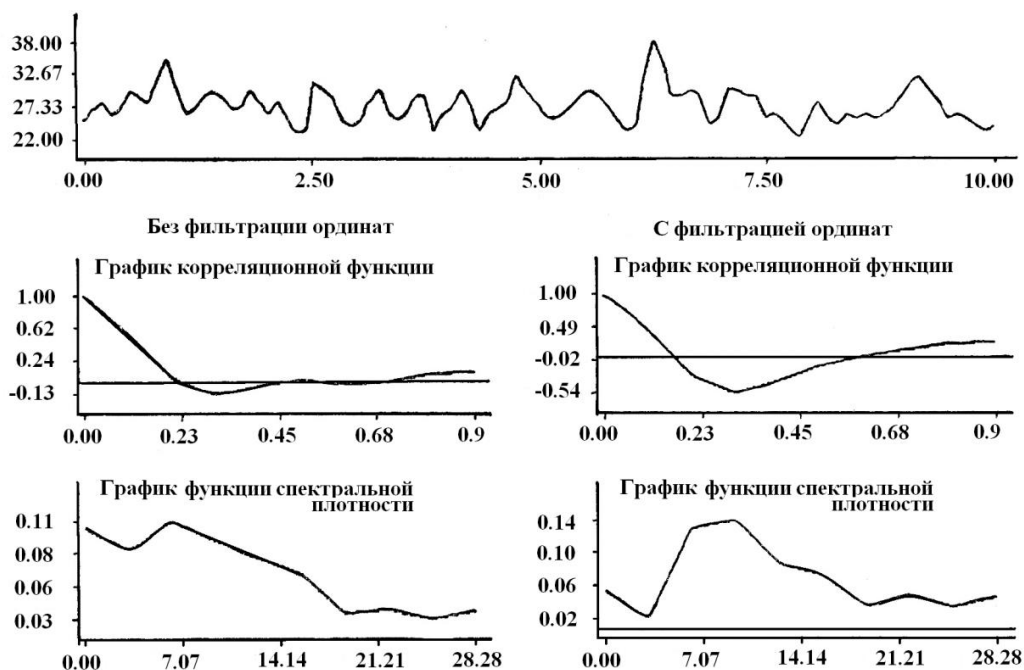


Рис.5.66. Реализация случайной функции $Y(t)$ и ее характеристики

Результаты обработки двух функций

Коэффициенты взаимной
корреляционной функции

$R(0) = 0,42$
 $R(1) = 0,41$
 $R(2) = 0,07$
 $R(3) = -0,28$
 $R(4) = -0,47$
 $R(5) = -0,35$
 $R(6) = -0,01$
 $R(7) = 0,20$
 $R(8) = 0,27$
 $R(9) = 0,24$

Коэффициенты обратной взаимной
корреляционной функции

$R(0) = 0,42$
 $R(1) = 0,19$
 $R(2) = -0,13$
 $R(3) = -0,35$
 $R(4) = -0,35$
 $R(5) = -0,14$
 $R(6) = 0,20$
 $R(7) = 0,39$
 $R(8) = 0,26$
 $R(9) = 0,00$

Коэффициенты взаимной спектральной плотности

$C(0,00) = 0,36240$
 $C(3,14) = 0,17428$
 $C(6,28) = 1,00264$
 $C(9,42) = 1,23164$
 $C(12,57) = 0,04981$
 $C(15,71) = 0,20467$
 $C(18,85) = 0,18515$
 $C(21,99) = 0,17848$
 $C(25,13) = 0,11731$
 $C(28,27) = 0,16174$

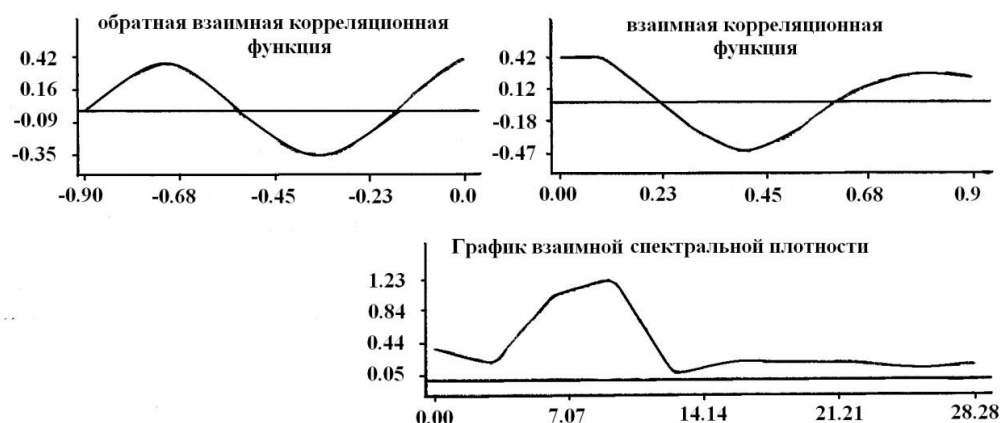


Рис.5.67. Взаимные характеристики входного и выходного процессов

Динамические свойства сошника могут быть охарактеризованы передаточной функцией, коэффициенты которой могут быть определены по соотношению значений спектральной плотности входного $X(t)$ и выходного $Y(t)$ процессов:

$$k = 0,966.$$

$$T_1 = 0,045.$$

$$T_2 = 0,040.$$

При данных значениях коэффициентов передаточной функции экспериментальные и расчетные значения квадратов модуля амплитудно-частотной характеристик могут быть представлены следующим образом.

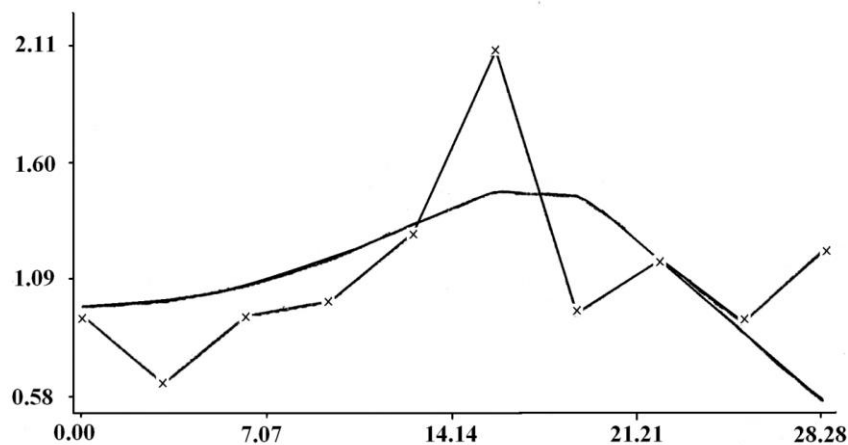


Рис.5.68. Квадраты модуля амплитудно-частотной характеристики:
 x-x-x - экспериментальная; - - - - расчетная

Полученная таким образом математическая модель является приближенной, так как не рассматривает влияние ряда неучитываемых факторов, не вполне оправданной предпосылкой о линейности модели, стационарности процесса, ограниченности размеров реализаций и т.д.

Чтобы иметь представление о достаточности оснований для модели входному воздействию, необходимо количественно оценить степень соответ-

ствия модели реальному объекту. В настоящее время используются в основном две оценки степени идентичности: дисперсионная и информационная.

Дисперсионная оценка определяется по соотношению:

$$\xi_D = D_{np} / D_y,$$

где D_{np} – дисперсия прогноза выходного процесса;

D_y – дисперсия выходного процесса.

Для линейных статистических моделей (линейная регрессия) имеет вид:

$$\xi_D = r_{yx}^2,$$

где r_{yx}^2 – квадрат коэффициента корреляции между случайной величиной x на входе и выходной переменной y .

Опыт идентификации моделей различных сельскохозяйственных агрегатов показал, что значения ξ_D моделей должны быть не менее 0,65...0,7.

Значениям $\xi_D < 0,65$ соответствует уже внушительная остаточная дисперсия, причем методика определения D_y дает во многих случаях заниженные результаты.

Удобным и эффективным для оценки степени идентичности моделей реальных сельскохозяйственных агрегатов и их рабочих процессов оказался метод с использованием функции когерентности

$$K^2(\omega) = |S_{yx}(\omega)|^2 / S_y(\omega)S_x(\omega),$$

которая определяет степень линейной связи между переменными на входе и выходе модели в частотной области.

Функция когерентности аналогична по смыслу квадрату коэффициента корреляции r_{yx}^2 и определяет степень линейной связи между случайными процессами на каждой частоте ω .

Если принять, что дисперсию прогноза

$$D_{np} \approx \int_0^{\infty} K_{yx}^2(\omega) S_y(\omega) d\omega,$$

то оценка степени идентичности модели на соответствующих частотах будет следующей:

$$\xi_D(\omega) \approx \int_0^{\infty} K_{yx}^2(\omega) \sigma_y(\omega) d\omega,$$

где $\sigma_y(\omega)$ – оценка нормированной спектральной плотности выходной реализации модели.

Если выходная переменная $Y(t)$ обусловлена полностью только входной реализацией $X(t)$, то $K_{yx}^2(\omega) = 1$ и $\xi_D(\omega) = 1$.

В случае отсутствия связей между $X(t)$ и $Y(t)$

$$K_{yx}^2(\omega) = 0 \quad \text{и} \quad \xi_D(\omega) = 0.$$

Таким образом, дисперсионная мера идентификации и функция когерентности могут быть использованы для степени соответствия математических моделей реально протекающим технологическим процессам.

6. Экспериментальные исследования

6.1. Общие положения. Классификация экспериментов

Вслед за теоретическими разработками и построениями математических моделей следует очень ответственная часть научных исследований – *эксперимент*. Основой эксперимента является научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми параметрами. Само слово *эксперимент* происходит от латинского *experimentum* – проба, опыт.

Во время эксперимента создают условия для воспроизведения того или иного изучаемого процесса, наблюдения, измерений уровней факторов, влияющих на результат и его оценку.

Постановка и организация эксперимента определяется его назначением.

Эксперименты классифицируют [43] по самым различным признакам:

- по отраслям науки – технические, физические, биологические, химические, социальные и др.;
- по способу формирования условий – естественные и искусственные;
- по целям исследований – констатирующие, преобразовывающие, контролирующие, поисковые, решающие;
- по организации проведения – лабораторные, натурные, полевые, производственные;
- по структуре изучаемых объектов и явлений – простые и сложные;
- по характеру внешних воздействий на объект исследований – вещественные, энергетические, информационные;
- по виду средства взаимодействия с объектом исследования – обычные и модельные;
- по типу моделей, исследуемых в эксперименте – материальные и мыслимые;
- по контролируемым величинам – пассивные и активные;
- по числу варьируемых факторов – однофакторные и многофакторные;
- по характеру изучаемых объектов или явлений – технологические, социометрические и т.п.

Разумеется, могут быть и другие классификационные признаки.

Если провести краткий анализ названных видов эксперимента, то можно отметить следующее.

Естественный эксперимент предполагает проведение опыта в естественных условиях существования объекта исследования (чаще всего используется в биологических, социальных, педагогических науках).

Искусственный эксперимент предполагает формирование искусственных условий (естественные и технические науки).

Преобразующий эксперимент (созидательный) направлен на создание условий формирования новых полезных свойств и качеств объекта.

Констатирующий эксперимент используют для проверки определенных предположений.

Контролирующий эксперимент сводится к контролю за результатами внешних воздействий на объект исследования с учетом его состояния.

Поисковый эксперимент проводят обычно в случае недостаточности предварительных данных о факторах, влияющих на объект и их значимости.

Решающий эксперимент проводят обычно для того, чтобы «отсечь» одну из гипотез от другой. Классическими примерами решающего эксперимента явились опыты Б.Паскаля по измерению атмосферного давления на вершине и у подножия горы *Puy de Dome*, и его учеников Роберта Бойля и Отто фон Герике с *Магдебургскими полушариями*; маятник Фуко, разрешивший спор между Птолемеем и Н.Коперником.

Лабораторный эксперимент проводится в лабораторных условиях, с применением специальных моделирующих установок, специальной измерительной аппаратуры, стендов и другого оборудования. Этот вид эксперимента, как правило, имеет хорошую воспроизводимость, позволяет получить хорошую научную информацию, но не всегда полностью моделирует реальный ход процесса.

Натурный эксперимент проводится в естественных условиях и на реальных объектах, типичных для реальной ситуации, в которой будет работать впоследствии создаваемый объект. Как правило, эксперимент неповторим, поскольку естественные условия непрерывно меняются, и воспроизвести их нельзя.

Особое внимание обращают на определение условий проведения этого эксперимента. Без указаний основных условий (например, тип почвы, влажность, твердость, состояние после предыдущей обработки, засоренность, состояние атмосферы и др.) результаты натурного эксперимента не имеют смысла.

Открытые и закрытые эксперименты отличаются тем, знают или нет испытуемые люди (коллективы, отдельные люди, допустим, механизаторы), что опыты проводятся с их участием.

Простой эксперимент используется для объектов, не имеющих разветвленной структуры, с небольшим количеством взаимодействующих элементов.

В *сложном эксперименте* изучаются явления или объекты с разветвленной структурой и большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов.

Информационный эксперимент используется для изучения воздействия на объект определенной информации, например, реакцию механических систем на некоторые тестовые воздействия (ступенчатое изменение нагрузки, изменение частоты внешних колебаний и т.п.).

Вещественный эксперимент предполагает изучение влияния различных вещественных факторов на состояние объекта исследования (допустим, влияние добавок на качество смазочных масел, топлива и др.).

Модельный эксперимент имеет дело с моделью исследуемого объек-

та. Часто модель входит в состав экспериментальной установки, замещая не только объект исследования, но и условия функционирования.

Различие между моделью и реальным объектом может быть источником ошибок.

Мысленный и материальный эксперимент. Орудиями мысленного (умственного) эксперимента являются мысленные или образно-знаковые модели. Синонимом *мысленного* является *идеализированный* или воображаемый эксперимент. Этот вид эксперимента является одной из форм умственной деятельности человека.

Мысленный эксперимент имеет более широкую сферу применения, чем материальный (реальный) эксперимент, так как применяется не только при подготовке и планирования последнего, но и в тех случаях, когда проведение реальных опытов представляется невозможным.

Так Г.Галилей в мысленном эксперименте пришел к выводу о существовании движения по инерции, опрокинувшему аристотелевскую точку зрения, согласно которой тело движется только под действием силы. Если сила прекратит свое действие, то тело останавливается. Галилей заметил, что если последовательно уменьшать трение, препятствующее движению, то тело будет двигаться дальше и дальше. Если этот мысленный эксперимент продолжить и снизить трение до нуля, то тело не остановится, несмотря на отсутствие внешней силы.

В восторге от этого решения был в свое время А.Эйнштейн, говоря: «Мы видели, что закон инерции нельзя вывести непосредственно из эксперимента, его можно вывести лишь умозрительно..., хотя он ведет к глубокому пониманию действительных экспериментов».

Огромна роль мысленного эксперимента в техническом конструировании и изобретательстве.

Активный и пассивный эксперименты. При активном эксперименте на вход системы подаются специальные входные сигналы и контролируют выход. При пассивном измеряют определенные параметры, ведут наблюдения, не вмешиваясь в его функционирование.

Примерами пассивного эксперимента являются наблюдения за дорожным движением, за числом дорожно-транспортных происшествий, за производственным травматизмом, развитием заболеваний и т.п. По существу, это наблюдение, которое сопровождается измерением показателей состояния объекта исследования.

Однофакторный и многофакторный эксперименты. При однофакторном эксперименте предполагается выделение нужных факторов и последовательное варьирование интересующих исследователя факторов.

Стратегия многофакторного эксперимента состоит в том, что варьируются все переменные сразу, и каждый эффект оценивается по результатам всех опытов в данной серии экспериментов.

Технологический и социометрический эксперимент используют для изучения элементов технологического процесса, включая деятельность работников и их межличностные социально-психологические отношения в малых группах с целью их последующего изменения.

Вычислительный эксперимент представляет собой особый вид исследований на применение прикладной математики и компьютера как технической базы при использовании математических моделей. Иными словами, это эксперимент под математической моделью. В какой-то мере его трудно отнести к разделу «Экспериментальные исследования», т.к. исследуется только результат теоретического построения.

Но, с другой стороны, при выполнении вычислительного эксперимента приходится решать те же задачи, что и при классическом, например, определять пределы измерений, интервалы варьирования, значимость факторов, осуществлять оценку результатов.

Вычислительный эксперимент имеет многовариантный характер, так как решение поставленных задач часто зависит от многочисленных входных параметров. Тем не менее, каждый конкретный расчет проводится при фиксированном значении остальных значений.

Между тем, в результате такого эксперимента часто ставится задача определения оптимального набора параметров. В связи с этим приходится проводить большое число расчетов однотипных вариантов задачи, а это, в свою очередь, требует использования в математических моделях эффективных численных методов.

Вычислительный эксперимент приобретает исключительное значение в тех случаях, когда натурные эксперименты и построение физической модели оказывается невозможным. Это, например, целый ряд задач об определении влияния тех или иных воздействий на экологию. Очень интересным и оригинальным оказалось использование этого метода проф. Е.Г. Еникеевым для разработки методики обоснования оптимального состава машинно-тракторного парка хозяйства, области, региона, с учетом вероятных рисков от надежности техники, нарушений агротехнических сроков выполнения сельскохозяйственных работ из-за погодных условий или недостатка машин.

Исключительно большое значение вычислительный эксперимент имеет в профессиональной подготовке специалистов, так как требует продумать порядок исследования объекта, для которого составлена математическая модель, без больших материальных затрат и в сравнительно ограниченных временных рамках учебного процесса.

Для проведения эксперимента любого типа или их комбинации необходима разработка *методики эксперимента*.

Методика – это совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследований.

Это своего рода *алгоритм* выполнения экспериментальной работы.

Методика эксперимента должна определить выбор варьирующих факторов, обоснование числа опытов, последовательности изменения факторов, выбора шага изменения факторов и др.

Большую помощь в составлении методики экспериментальных работ могут оказать нормативные документы, определяющие принципы общих и частных решений исследований.

Очень часто экспериментальные исследования в чем-то перекликаются с задачами, решаемыми путем испытаний машин, их рабочих органов и механизмов.

Поскольку при испытаниях машин (что, вообще говоря, представляет собой разновидность экспериментальной работы) могут быть приняты очень ответственные решения, то для их организации разработано большое количество нормативных документов (ГОСТов, ОСТов, технических условий, систем стандартов и т.д.). Нормативные документы касаются организации и структуры испытаний, машин и технологий по всем отраслям и типам машин.

Большую группу среди них составляют стандарты *Ассоциации испытателей сельскохозяйственной техники* (СТО АИСТ), по которым работают все машиноиспытательные центры страны, обеспечивая при этом единство требований и методик. В них очень детально описываются методы измерений, оцениваемые параметры, показатели, характеризующие качество работы, силовые и энергетические характеристики при различных режимах работы.

Детализация методик доведена даже до формы записей результатов и их обработки.

6.2. Планирование эксперимента

6.2.1. Планирование полевого опыта

Существенными особенностями экспериментальных исследований в сельском хозяйстве является необходимость проведения работы в полевых условиях и то, что на объект, как правило, действует одновременно большое количество факторов.

При проведении полевых опытов необходимо учитывать возможность систематического изменения условий опыта (допустим, из-за подсыхания почвы, неоднородности физико-механических свойств, засоренности участков, уклонов поверхности и т.д.) даже в пределах одного поля. Могут изменяться и свойства машин (затупление лезвий у рабочих органов, опорожнение бункеров посевных машин и наполнение их у уборочных).

В полевых условиях невозможно обеспечить воспроизводимость опытов – этого важнейшего требования к обычному эксперименту. В какой-то мере этот недостаток устраняют дотошным описанием условий, а главное, опыты повторяют с эталонной машиной, работа и характеристики которой уже известны. В качестве эталонной машины или рабочего органа используют серийно выпускаемые промышленностью образцы.

Для устранения систематических ошибок при планировании полевых опытов прибегают к *рандомизации* участков, на которых намечаются исследования того или иного варианта.

Рандомизация предполагает случайное чередование вариантов опытов.

Если, например, используется работа машины на трех различных

скоростях V_1 , V_2 , V_3 , то при трех повторностях и наличии эталонной машины необходимо провести 18 опытов, для которых будет необходимо 18 деленок шириной примерно в 8...10 захватов (настройка, тщательная регулировка, определение агротехнических показателей, энергетическая оценка машины и ее рабочих органов).

После рандомизации (которую можно осуществить на компьютере, по таблице случайных чисел или просто перетасовав карточки с вариантами), схема расположения участков (деленок) может оказаться следующей (табл. 6.1), где введены обозначения: «э» - эталонная, а «и» - испытываемая машины.

Таблица 6.1

Схема расположения деленок

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
э	э	и	э	э	и	и	и	и	э	и	э	э	и	э	э	и	и
V_2	V_3	V_3	V_1	V_3	V_1	V_1	V_3	V_2	V_1	V_3	V_3	V_2	V_2	V_1	V_2	V_1	V_2

В некоторых случаях на реализацию опытов могут быть наложены ограничения с целью получения более сопоставимых результатов. Например, исследуется работа новой сеялки, но эффективность ее работы зависит от агрегата, в котором используется (одно-, двух- или трехсеялочный агрегат). В этом случае опыты разбивают на блоки (допустим А, В, С, а затем случайным образом размещают блоки и опыты внутри них (табл.6.2).

Таблица 6.2

Вариант блочного плана размещения деленок

В	V_2	V_1	V_3	V_1	V_2	V_3	V_3	V_2	V_1
А	V_3	V_3	V_1	V_1	V_1	V_1	V_2	V_3	V_2
С	V_3	V_3	V_2	V_2	V_3	V_1	V_2	V_1	V_1

Даже беглый анализ плана показывает, что если сопоставимость по строкам обеспечивается, то по столбцам она не выполняется. В первом столбце не испытываются агрегаты на скорости V_1 , во втором – V_2 , в четвертом V_3 .

Если поле не выравнено по каким-либо параметрам и нужно стремиться к полной сопоставимости по продольному и поперечному направлениям, то необходимо использовать планы, составленные по латинскому квадрату, в такой схеме все элементы в строках и столбцах повторяются один раз (табл.6.3)

Таблица 6.3

План на основе латинского квадрата

А	В	С	Д	Е
В	С	Д	Е	А
С	Д	Е	А	В
Д	Е	А	В	С
Е	А	В	С	Д

Способ построения такого квадрата прост. Элементы вписываются в определенном порядке в верхнюю строку и левый столбец, а затем строки дописывают в принятой последовательности.

Размещение опытных делянок методом латинского квадрата позволяет в значительной мере устранить влияние систематического изменения свойств почвы и ее плодородия (что очень важно, если опыт доводится до определения влияния на урожайность).

Недостатком размещения опытов по латинскому квадрату является избыточное количество повторностей. В латинском квадрате число повторностей обязательно совпадает с числом вариантов опыта, что делает опыт громоздким. Обычно число повторностей выбирают не более 3...4.

Устраняют этот недостаток за счет использования *латинских прямоугольников*. В этом случае необходимо лишь, чтобы число вариантов было кратно числу повторностей.

Латинский прямоугольник получают методом «расщепления» элементов латинского квадрата на частное от деления числа вариантов на число повторностей. Например, необходимо разместить девять вариантов опытов в трех повторностях. Для этого нужно взять латинский квадрат 3×3 и каждый его элемент «расщепить» на 3 части (табл.6.4).

Таблица 6.4

План размещения делянок по плану латинского прямоугольника

А			В			С		
В			С			А		
С			А			В		

А			В			С		
V ₂	V ₁	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃	V ₃	V ₂	V ₁
В			С			А		
V ₁	V ₂	V ₃	V ₃	V ₂	V ₁	V ₂	V ₁	V ₃
С			А			В		
V ₃	V ₂	V ₁	V ₂	V ₁	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃

Анализ плана показывает, что в нем, разумеется, нет полной сопоставимости, поскольку не во всех элементарных столбцах присутствуют опыты со всеми вариантами (например, скоростями). Но если принять во вни-

мание крупные столбцы А, В, С, то сопоставимость обеспечена. Поскольку внутри крупных столбцов большие отличия в свойствах почвы маловероятны, то потери от полной сопоставимости не будут очень значительными.

В последнее время, наряду с латинскими прямоугольниками, для планирования полевых опытов широко используются квадраты Юдена и так называемые ВІВ-планы (сбалансированные неполноблочные планы).

Эти планы представляют собой часть латинского квадрата (неполные латинские квадраты), и полной сопоставимости они обеспечить не могут. Чтобы не слишком ухудшить это важное свойство латинского квадрата, в ВІВ-планах элементы сбалансированы, т.е. встречаются одинаковое число раз и входят во взаимодействие со всеми элементами плана.

Например, латинский квадрат из четырех элементов может представить собой план:

Таблица 6.5.

План четырехфакторного эксперимента по схеме латинского квадрата

А	В	С	Д
В	С	Д	А
С	Д	А	В
Д	А	В	С

Если предположить, что четырехкратная повторность излишняя, и есть желание ее сократить до трех, или двукратной, то оставшиеся части будут представлять собой планы «а» и «б»

Таблица 6.6.

Планы четырехфакторного эксперимента
с уменьшенным числом повторностей

«а»

А	В	С	Д
В	С	Д	А
С	Д	А	В

«б»

А	В	С	Д
В	С	Д	А

План «а» оказался сбалансированным, так как каждый элемент А, В, С, Д встречается по столбцам со всеми отдельными по два раза (т.е. одинаковое число раз).

План «б» уже не сбалансирован, так как элемент А, например, встречается в одном столбце с В и Д, но не встречается с С.

Перечень ВІВ-планов и квадратов Юдена приводится в литературе по методикам полевого опыта [44], [45].

6.2.2. Планирование многофакторного эксперимента

Во введении книги «Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий» Ю.П. Адлер – один из основных ученых нашей страны в этой области знаний, – не без иронии отмечает: «Мысль о том, что эксперимент можно планировать, восходит к глубокой давности.

Наш далекий предок, убедившийся, что острым камнем можно убить даже мамонта, несомненно, выдвигал гипотезы, которые после целенаправленной экспериментальной проверки привели к созданию копья, дротика, а затем и лука со стрелами. Он, однако, не пользовался статистическими методами, поэтому остается непонятным, как он вообще выжил, и обеспечил тем самым наше существование.

Только в начале 20-го века люди, наконец, поняли, что дальше так дело не пойдет, и придумали статистические методы планирования эксперимента. Часть открытия этой идеи принадлежит английскому статистику Рональду Фишеру, который впервые показал целесообразность одновременного варьирования несколькими факторами в противовес широко распространенному однофакторному эксперименту [46].

Шутка-шуткой, но, действительно, основой экспериментальной работы был однофакторный эксперимент. Причиной этого являлось изучение точными науками систем, в которых можно было выделить явления, зависящие от совсем малого числа переменных.

Полученные результаты описывались легко объяснимыми функциональными зависимостями, которым приписывалась роль абсолютных законов. При этом предполагалось, что поддерживая с достаточной точностью постоянными независимые переменные и изменяя последовательно первый, второй и т.д. факторы, исследователь может отыскать интересующую его зависимость. Переменные, которые исследователь не мог поддерживать на определенном уровне, чаще всего отбрасывались (оставляли без внимания) как несущественные.

Например, основное уравнение молотильного аппарата В.П. Горячкин вывел на основе теории неупругого удара и представил так:

$$N_2 = \frac{m'V^2}{1-f} = J \frac{d\omega}{dt} \omega,$$

где N_2 – мощность, затрачиваемая на обмолот;

m' – величина подачи хлебной массы в секунду;

f – коэффициент сопротивления деки;

J – момент инерции барабана;

ω – угловая скорость барабана;

$\frac{d\omega}{dt}$ – допустимое ускорение барабана.

По воспоминаниям акад. И.И. Артоболевского, когда В.П. Горячкин заканчивал вывод этой формулы на доске, он отходил от нее и резюмировал, что, мол, вот и все, что тут уже не добавить, не убавить ничего нельзя, что формула описывает весь процесс обмолота.

Как-то на лекции по молотильному аппарату студентам, уже порабо-

тавшим на комбайне во время производственной практики, был задан вопрос: «Не смогли бы вы назвать параметры технологического процесса обмолота, которые не учитывает данная модель?». Тут же было названо полтора десятка таких факторов. Это, например, вид культуры, влажность хлебной массы, степень соломистости, параметры молотильного аппарата и деки, зазоры между барабаном и декой и т.д.

Если считать, что каждый фактор нужно исследовать на p уровнях (допустим, в трех точках, чтобы можно было воспроизвести кривую линию, отражающую зависимость), то число опытов определяется уравнением:

$$N = p^m,$$

где m – число факторов; p – число уровней.

Несложно было посчитать, что $N = 3^{15} = 14348907$.

Допустим, что на опыт затрачивается минимальное время, всего по 5 минут, тогда исследование займет 71744535 минут, что соответствует 1195742,25 часам, или 49822,594 суткам, или 136,5 года непрерывной работы.

Но в настоящее время изучаются процессы с гораздо большим числом факторов. Так, С.В. Мельников, изучая процесс измельчения сельскохозяйственных продуктов в молотковой дробилке, учитывал уже 27 факторов [47]. Таким образом, совершенно необходимы другие методы изучения многофакторных моделей.

Для того чтобы представить самый простой вариант, позволяющий во время опыта одновременно изменять не один, а сразу несколько факторов, представим искомую зависимость

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (6.1)$$

с геометрическим образом в виде некоторой поверхности, которую, в случае двухфакторного эксперимента, можно изобразить в трехмерном пространстве (рис. 6.1). Для двухфакторного эксперимента нет даже необходимости перехода к трехмерному пространству (рис. 6.1а). Поверхность можно представить в виде изолиний (рис. 6.1б, в), как изображают горы и впадины на географических картах.

При большем числе факторов необходимо будет представлять поверхность в n -мерном пространстве как некоторую аналогию.

Вид поверхности отклика может быть самым разнообразным. В теории планирования эксперимента лишь принимают допущение о том, что она непрерывна в области определения, и имеет в ней единственный оптимум.

Поиск оптимальной точки M может быть осуществлен двумя способами. До недавнего прошлого классическим признавался метод Гаусса-Зейделя. Он состоит в том, что сначала последовательно с некоторым шагом варьирования изменяют один фактор (допустим x_2 (рис. 6.1б) при постоянном значении другого (допустим, x_{21}). При этом находят и фиксируют наилучшее значение этого фактора. Фиксируют это значение x_{21} , и последовательно меняют фактор x_1 . Находят оптимальное значение этого сечения, фиксируют x_{12} на оптимальном уровне и вновь меняют значение x_2 (уже в другом сечении). Если эти действия продолжить, то в точку M эксперимен-

татор попадает неизбежно, но количество опытов очень велико.

В последнее время более эффективным считается шаговый принцип движения к оптимуму (метод Дж. Бокса и К. Уилсона).

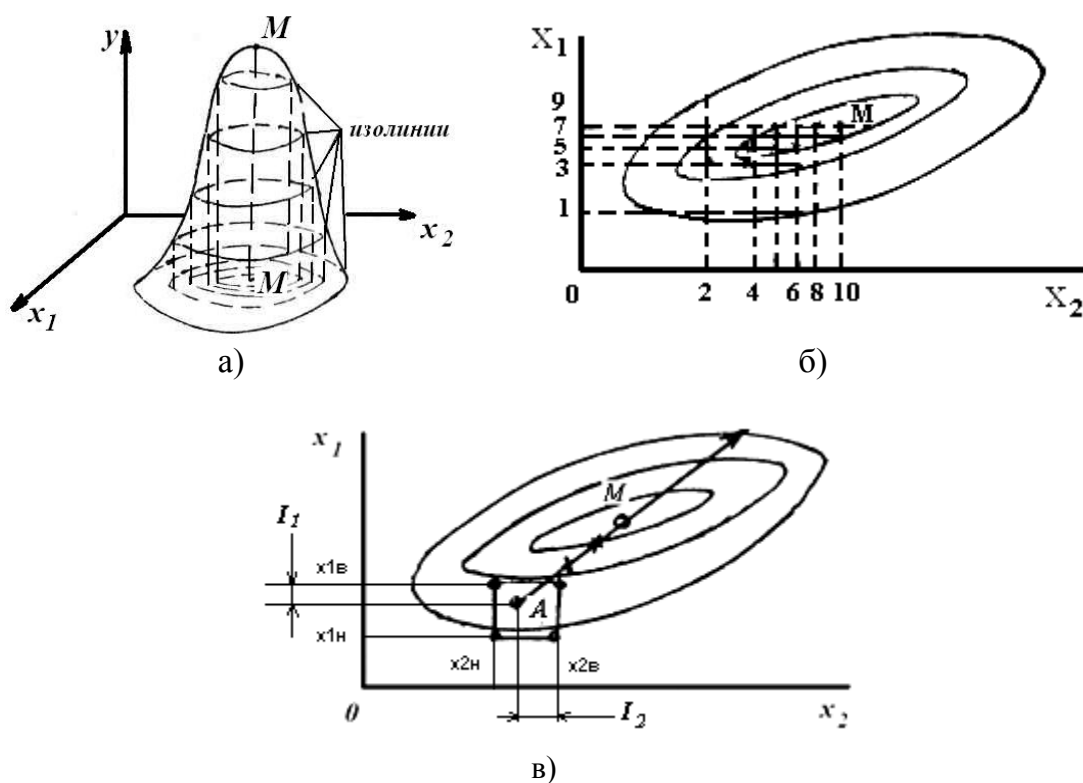


Рис. 6.1. Поверхность отклика многофакторного эксперимента

В этом случае на поверхности отклика (т.е. в факторном пространстве) выбирают произвольную точку A и проводят вокруг этой точки эксперимент на некотором расстоянии от нее. Это расстояние называют интервалом варьирования I_j , составляющим от 10 до 30% от предела изменения соответствующего фактора. Иными словами, эксперименты проводят в точках:

$$x_{1\text{верхнее}} = x_A + J_1; x_{1\text{нижнее}} = x_A - J_1; x_{2\text{верхнее}} = x_{2A} + J_2 \text{ и } x_{2\text{нижнее}} = x_{2A} - J_2.$$

По результатам опытов определяют направление, по которому можно приближаться к оптимуму. В этом направлении и проводят последующие опыты.

Для сокращения числа опытов желательно, чтобы в зоне точки A первоначальных опытов было указано направление, в котором параметр оптимизации будет изменяться быстрее всего. Часто и сам метод Бокса-Уилсона называют *методом крутого восхождения*.

Из векторного анализа известно, что направление самого быстрого изменения функции определяется ее вектор-градиентом.

Градиент функции отклика $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в любой точке факторного пространства определяется выражением

$$\text{grad} f = \nabla f = \frac{\partial f}{\partial x_1} \vec{i} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \vec{j} + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \vec{k}, \quad (6.2)$$

где $\frac{\partial f}{\partial x}$ - частные производные по каждому фактору $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$,

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы в направлении осей соответствующих факторов (орты).

Предположение о том, что функция отклика является непрерывной и дифференцируемой, дает возможность линеаризировать ее в ограниченной области (например, вокруг точки A), используя для этого формулу Тейлора:

$$y = f(x_1; x_2 \dots x_n) = f(x_1; x_2 \dots x_n)_A + \left. \frac{\partial f}{\partial x_1} \right|_A (x_1 - x_{1A}) + \\ + \left. \frac{\partial f}{\partial x_2} \right|_A (x_2 - x_{2A}) \dots \left. \frac{\partial f}{\partial x_n} \right|_A (x_n - x_{nA}).$$

Если учесть, что частные производные, вычисленные около определенной точки A , являются постоянными величинами, и сгруппировать все постоянные величины, то после некоторых преобразований можно будет получить:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n \quad (6.3)$$

где b – коэффициенты данного полинома, определяемые из опыта.

Это уравнение называют уравнением регрессии, а b – коэффициентами регрессии. Эти коэффициенты зависят в основном от частных производ-

ных: $b_1 = \left. \frac{\partial f}{\partial x_1} \right|_A$; $b_2 = \left. \frac{\partial f}{\partial x_2} \right|_A$ и т.д.

Если сравнить уравнение регрессии (6.3) с уравнением вектор-градиента (6.2), то нетрудно убедиться, что координаты вектор-градиента равны соответствующим коэффициентам регрессии в виде полинома первой степени, который аппроксимирует поверхность отклика вблизи точки A .

В случае, когда коэффициенты удастся по первой серии опытов вокруг точки A найти, и проверить их значимость (они не должны быть сопоставимыми с ошибками опытов), то в последующем можно вести опыты с движением по градиенту.

Если один из факторов (допустим, x_1) менять с некоторым шагом, то другие факторы нужно изменять в этом же опыте пропорционально соответствующим коэффициентам:

$$\Delta x_2 = \frac{b_2}{b_1} \Delta x_1; \Delta x_3 = \frac{b_3}{b_1} \Delta x_1; \Delta x_n = \frac{b_n}{b_1} \Delta x_1, \quad (6.4)$$

т.е. опыт вести так, как рекомендовал Р.Фишер, одновременно меняя значения всех факторов на величину Δx_i .

В этом случае каждый из пары координат нового опыта окажется на вектор-градиенте. После некоторого количества шагов можно будет обнаружить максимальное значение (точка M).

6.2.3. Планы полного факторного эксперимента (ПФЭ)

При проведении начальной серии опытов вокруг начальной точки A (рис.6.1в) необходимо эксперимент выполнить при всех возможных сочетаниях факторов и их уровней (верхний и нижний). Такое исследование называется *полным факторным экспериментом (ПФЭ)*.

Необходимо еще раз обратить внимание на то, что для линейной модели опыт достаточно провести только для двух уровней $x_{\text{верх}}$ и $x_{\text{ниж}}$, поскольку прямую линию можно провести по двум экспериментальным точкам.

При небольшом количестве факторов подобрать все возможные сочетания факторов и их уровней еще возможно. Но если факторов много, то задача становится очень сложной. Выход из этого затруднения находят в переходе от натуральных значений факторов к кодированным x и составлении матрицы планирования эксперимента.

Кодированное значение фактора находят по уравнению:

$$x_j = (x_j - x_{jA}) / J_j, \quad (6.5)$$

где x_j – кодированное значение j -го фактора;

x_j – натуральное значение j -го фактора (верхнее или нижнее);

x_{jA} – натуральное значение основного уровня j -го фактора.

Нетрудно убедиться, что все кодированные значения верхних уровней факторов окажутся равными (+1), а нижнего – (-1).

Матрицы двух- и трехфакторного экспериментов будут выглядеть так (рис.6.2а, б).

Число опытов (и соответственно строк) определится уравнением $N=2^m$, где m – число факторов.

В столбцах x_1 чередуют значения +1; (-1).

Во втором знаки меняют через 2 номера, затем через 4, 8, 16, 32, 64, 128 и т.д.

Поскольку информацию об уровне каждого фактора несет только знак перед единицей (рис.6.2а), то единицу в матрице не пишут, а оставляют лишь ее знак (рис.6.2б). В крайнем правом столбце записывают результат опыта y_i .

Например: в первом опыте трехфакторного эксперимента (рис.6.2б) первый фактор x_1 берут на верхнем уровне, второй и третий – на нижнем. По окончании такого опыта результат записывают в виде y_i .

Матрица ПФЭ не только решает задачу поиска всех возможных сочетаний уровней и факторов, но может существенно упростить задачу определения коэффициентов уравнения регрессии. Для этого следует обратить внимание на свойства матрицы планирования эксперимента.

1. *Симметричность матрицы* состоит в том, что сумма элементов любого вектор-столбца для каждого фактора равна нулю.

2. *Свойство нормированности* заключается в том, что сумма квадратов элементов любого вектор-столбца для каждого фактора равна числу опытов (поскольку $(+1)^2=1$ и $(-1)^2=1$).
3. *Ортогональность матрицы* заключается в том, что сумма произведений соответствующих элементов двух вектор-столбцов (например, $\sum x_1 \cdot x_2$, или $\sum x_1 \cdot x_3$, или $\sum x_2 \cdot x_3$), равна нулю.
4. *Ротатабельность матрицы ПФЭ* выражает тот факт, что дисперсии предсказанных значений отклика на равных расстояниях от центра плана постоянны и минимальны.

Номер опыта	x_1	x_2	Y
1	+1	-1	y_1
2	-1	-1	y_2
3	+1	+1	y_3
4	-1	+1	y_4

а)

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	Y
1	+	-	-	y_1
2	-	-	-	y_2
3	+	+	-	y_3
4	-	+	-	y_4
5	+	-	+	y_5
6	-	-	+	y_6
7	+	+	+	y_7
8	-	+	+	y_8

б)

Рис. 6.2. Матрицы планирования двух и трехфакторного эксперимента

Определение коэффициентов уравнения регрессии на основе опытных данных

Пусть искомое уравнение регрессии имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (6.6)$$

В уравнении три неизвестных коэффициента: b_0 ; b_1 ; b_2 .

Опыты проведены в четырех точках (матрица рис.6.2а), но зафиксированные в них значения y_1 , y_2 , y_3 и y_4 определены лишь с некоторым приближением, доступным для условий эксперимента.

В этом случае левая часть уравнения (6.6) – найденная в опыте, и правая – расчетная могут несколько отличаться друг от друга, т.е. будет иметь место лишь приближенное равенство:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &\approx b_0 + b_1 x_{11} + b_2 x_{21} \\ y_2 &\approx b_0 + b_1 x_{12} + b_2 x_{22} \\ y_3 &\approx b_0 + b_1 x_{13} + b_2 x_{23} \\ y_4 &\approx b_0 + b_1 x_{14} + b_2 x_{24} \end{aligned} \right\}, \quad (6.7)$$

где x_{ji} – значения фактора j в i -том (по строке) опыте.

Если учесть, что разница между левой и правой частями уравнений системы (6.6) невелика и равна ошибке опыта ε , то ее можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} y_1 - b_0 - b_1 x_{11} - b_2 x_{21} &= \varepsilon_1 \\ y_2 - b_0 - b_1 x_{12} - b_2 x_{22} &= \varepsilon_2 \\ y_3 - b_0 - b_1 x_{13} - b_2 x_{23} &= \varepsilon_3 \\ y_4 - b_0 - b_1 x_{14} - b_2 x_{24} &= \varepsilon_4 \end{aligned} \right\}. \quad (6.8)$$

В курсе теории вероятностей доказывается, что наиболее вероятными значениями коэффициентов будут те из них, которые снизят до минимума сумму квадратов отклонений ε_i (или остатков, как их иногда называют). Из этого следует и название используемого метода – *метод наименьших квадратов*.

Сумма квадратов отклонений будет равна:

$$S = \sum_{i=1}^N (y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i})^2. \quad (6.9)$$

Для того чтобы функцию нескольких переменных (в данном случае b_0, b_1, b_2) привести к минимальному значению, нужно взять частные производные по этим переменным и приравнять их к нулю, а затем решить систему полученных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial b_0} &= 2 \sum_{i=1}^N (y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i})(-1) = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b_1} &= 2 \sum_{i=1}^N (y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i})(-x_{1i}) = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b_2} &= 2 \sum_{i=1}^N (y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i})(-x_{2i}) = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (6.10)$$

Учитывая, что если удвоенная сумма равна нулю, то нулю равняется и сама сумма, и то обстоятельство, что искомые значения коэффициентов уравнения регрессии справедливы для всех уравнений системы, можно получить:

$$\left. \begin{aligned} b_0 \sum_{i=1}^N 1 + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^N x_{2i} &= \sum_{i=1}^N y_i \\ b_0 \sum_{i=1}^N x_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} &= \sum_{i=1}^N x_{1i} y_i \\ b_0 \sum_{i=1}^N x_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^N x_{2i}^2 &= \sum_{i=1}^N x_{2i} y_i \end{aligned} \right\}.$$

Если от натуральных значений факторов перейти к кодированным и учесть свойства симметричности ($\sum_{i=1}^n x_{ji} = 0$; $\sum_{i=1}^N x_{2i} = 0$), нормированности ($\sum_{i=1}^N x_1^2 = N$; $\sum_{i=1}^N x_2^2 = N$) и ортогональности ($\sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} = 0$), то система уравнений примет следующее значение:

$$\left. \begin{aligned} b_0 N + 0 + 0 &= \sum_{i=1}^n y_i \\ b_0 0 + b_1 N + b_2 0 &= \sum_{i=1}^N x_{1i} y_i \\ b_0 0 + b_1 0 + b_2 N &= \sum_{i=1}^N x_{2i} y_i \end{aligned} \right\} \quad \text{или} \quad \left. \begin{aligned} b_0 N &= \sum_{i=1}^N y_i \\ b_1 N &= \sum_{i=1}^N x_{1i} y_i \\ b_2 N &= \sum_{i=1}^N x_{2i} y_i \end{aligned} \right\}.$$

Откуда легко находят коэффициенты уравнения регрессии как в общем виде, так и для рассматриваемого примера двухфакторного эксперимента:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i & \text{или} & \quad b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4}; \\ b_1 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{1i} y_i & \text{или} & \quad b_1 = \frac{y_1 - y_2 + y_3 - y_4}{4}; \\ b_2 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{2i} y_i & \text{или} & \quad b_2 = \frac{y_1 - y_2 + y_3 - y_4}{4}. \end{aligned}$$

Поскольку x_{ji} может принимать в матрице значение (+1) и (-1), то суммировать результаты опытов y_j нужно с теми знаками, с которыми соответствующие вектор-столбцы (x_i) находят в матрице.

Чтобы способ определения всех коэффициентов (включая b_0) был одинаковым, в матрицу планирования вводят дополнительный *фиктивный* вектор-столбца x_{0i} , у которого все значения равны (+1), тогда матрица для трехфакторного эксперимента будет выглядеть следующим образом.

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3
1	+	+	-	-
2	+	-	-	-
3	+	+	+	-
4	+	-	+	-
5	+	+	-	+
6	+	-	-	+
7	+	+	+	+
8	+	-	+	+

Рис. 6.3. Матрица планирования эксперимента с фиктивным фактором x_0

Общий вид уравнения, определяющий коэффициенты уравнения регрессии, будет следующий:

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_{ji} y_i \quad (6.11)$$

Чем больше коэффициент b_j , тем большее влияние фактор оказывает на исследуемый параметр y . Если коэффициент b_j сопоставим с ошибками опыта, то соответствующий фактор x_j считают несущественным.

Помимо определения коэффициентов b_j план полного факторного эксперимента позволяет определить возможные взаимодействия факторов. В этом случае уравнение регрессии усложняют. Допустим, для трехфакторного эксперимента

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (6.12)$$

В этом случае матрицу планирования можно представить так:

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_i
1	+	+	-	-	-	-	+	+	y_1
2	+	-	-	-	+	+	+	-	y_2
3	+	+	+	-	+	-	-	-	y_3
4	+	-	+	-	-	+	-	+	y_4
5	+	+	-	+	-	+	-	-	y_5
6	+	-	-	+	+	-	-	+	y_6
7	+	+	+	+	+	+	+	+	y_7
8	+	-	+	+	-	-	+	-	y_8

Рис. 6.4. Матрица планирования трехфакторного эксперимента с возможными взаимодействиями факторов

Соответствующие коэффициенты уравнения регрессии окажутся равными

$$\left. \begin{aligned} b_{12} &= \frac{-y_1 + y_2 + y_3 - y_4 - y_5 + y_6 + y_7 - y_8}{8} \\ b_{13} &= \frac{-y_1 + y_2 - y_3 + y_4 + y_5 - y_6 + y_7 - y_8}{8} \\ b_{23} &= \frac{y_1 + y_2 - y_3 - y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8}{8} \\ b_{123} &= \frac{y_1 - y_2 - y_3 + y_4 - y_5 + y_6 + y_7 - y_8}{8} \end{aligned} \right\}; \quad (6.12)$$

т.е. знаки перед y_i ставятся из столбца матрицы, где определено соответствующее взаимодействие.

Опыт изучения взаимодействий показал, что парные взаимодействия достаточно вероятны, но взаимодействия более высоких порядков встречаются исключительно редко.

6.2.4. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ)

В полном факторном эксперименте число опытов снижено за счет линеаризации области исследования, т.е. вместо обычных трех уровней в этом плане остается два, тогда общее число опытов будет, как уже отмечалось ранее, $N = 2^m$.

Возможность дальнейшего снижения числа опытов состоит в том, что в плане ПФЭ количество опытов (строк матрицы) может быть существенно больше числа искомых коэффициентов. Например, при трехфакторном эксперименте всего четыре неизвестных коэффициента (и стало быть для их определения достаточно четырех уравнений), а матрица включает восемь опытов.

Если допустить, что проведение восьми опытов затруднительно (может быть они очень трудоемки или до'роги) и попытаться обойтись только половиной (говорят *полуреplikой*), то встает вопрос, какие из восьми планов ПФЭ нужно проводить и к каким ошибкам, к какой потере информации приведет такое сокращение.

Если задачу попытаться решить просто, допустим, взяв первую или вторую четверку опытов из матрицы ПФЭ, то получится:

Номер опыта	x_1	x_2	x_3	y_i	Номер опыта	x_1	x_2	x_3	y_i
1	+	-	-	y_1	5	+	-	+	y_1
2	-	-	-	y_2	6	-	-	+	y_2
3	+	+	-	y_3	7	+	+	+	y_3
4	-	+	-	y_n	8	-	+	+	y_n

Рис. 6.5. Варианты поиска возможности сокращения числа опытов

Варианты оказались неудачными, так как матрицы стали несимметричными, поскольку в них сумма элементов x_3 не равна нулю, т.е. наруше-

но свойство симметричности, и определить значение коэффициентов стало невозможно.

При поиске вариантов следует избегать случаев, когда вектор-столбцы одинаковы или линейно зависимы.

Приемлемыми могут оказаться два варианта:

Заметим, что в приемлемых планах ДФЭ произведения всех трех факторов равняются либо

$$\overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_2 \overset{\circ}{x}_3 = +1 \text{ или } \overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_2 \overset{\circ}{x}_3 = -1 . \quad (6.13)$$

Выражения (6.13) называют *определяющим контрастом*. Приняв заранее то или иное значение определяющего контраста, найти матрицу дробного факторного эксперимента несложно.

Сокращение числа опытов по плану ДФЭ ведет к некоторой потере информации о возможных взаимодействиях.

Перемножив определяющий контраст матрицы (рис. 6.6а) последовательно на $\overset{\circ}{x}_1$, $\overset{\circ}{x}_2$, $\overset{\circ}{x}_3$ можно получить:

$$\overset{\circ}{x}_1^2 \overset{\circ}{x}_2 \overset{\circ}{x}_3 = \overset{\circ}{x}_1; \quad \overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_2^2 \overset{\circ}{x}_3 = \overset{\circ}{x}_2; \quad \overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_2 \overset{\circ}{x}_3^2 = \overset{\circ}{x}_3 \quad (6.14)$$

Учитывая, что $\overset{\circ}{x}_j^2 = 1$,

$$\overset{\circ}{x}_1 = \overset{\circ}{x}_2 \overset{\circ}{x}_3, \quad \overset{\circ}{x}_2 = \overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_3, \quad \overset{\circ}{x}_3 = \overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_2 , \quad (6.15)$$

но тогда оценка коэффициента $\overset{\circ}{b}_1$ (которая зависит от вектор-столбца $\overset{\circ}{x}_1$) будет смешана с парным взаимодействием $\overset{\circ}{x}_2 \overset{\circ}{x}_3$.

Номер опыта	$\overset{\circ}{x}_1$	$\overset{\circ}{x}_2$	$\overset{\circ}{x}_3$	y_i	$\overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_2 \overset{\circ}{x}_3$
1	+	-	-	y_1	+1
6	-	-	+	y_6	+1
7	+	+	+	y_7	+1
8	-	+	-	y_8	+1

а)

Номер опы- та	x_1	x_2	x_3	y_i	$x_1 x_2 x_3$
2	-	-	-	y_2	-1
3	+	+	-	y_3	-1
5	+	-	+	y_5	-1
8	-	+	+	y_8	-1

б)

Рис. 6.6. Возможные планы полуреплики трехфакторного эксперимента

Совершенно аналогично b_2 будет смешано с взаимодействием $x_1 x_3$, а b_3 – с $x_1 x_2$.

Соотношения (6.15) называют генерирующими соотношениями.

Иными словами, в полуреплике трехфакторного эксперимента теряется информация о парных взаимодействиях. Потеря существенна, так как вероятность парных взаимодействий может быть высокой.

Но уже в четырехфакторном эксперименте определяющий контраст равен $x_1 x_2 x_3 x_4 = 1$, а генерирующие соотношения

$$x_1 = x_2 x_3 x_4, x_2 = x_1 x_3 x_4, x_3 = x_1 x_2 x_4, x_4 = x_1 x_2 x_3, \quad (6.16)$$

т.е. основные эффекты, зависящие от b_1, b_2, b_3, b_4 , с парными взаимодействиями смешаны уже не будут, а вероятность тройных взаимодействий считается уже ничтожной. Таким образом, разрешимость дробных реплик растет с увеличением числа факторов (когда ДФЭ и необходим). Пример возможного сокращения числа опытов при ДФЭ приводится в таблице 6.7.

Таким образом, использование планов ПФЭ и особенно дробных реплик может существенно снизить число опытов по определению уравнения регрессии для линейных моделей.

6.2.5. Исследование поверхности отклика в области оптимума

К сожалению, линейные модели не всегда адекватны, особенно когда эксперимент ведется уже вблизи оптимального для функции $y = f(x_1 x_2 \dots x_n)$ значения.

В этом случае для аппроксимации поверхности отклика используют модель второго порядка.

Таблица 6.7.

Число опытов при различных планах эксперимента

Число факторов	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Классический эксперимент на 3-х уровнях	27	81	243	729	2187	6561	19683	59049	177147	531441	1594323	4782969	14348907
Число опытов при ПФЭ	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096	8192	16384	32768
Дробность реплики	1/2	1/2	1/4	1/8	1/16	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/512	1/1024	1/2048
Число опытов при ДФЭ	4	8	8	8	8	16	16	16	16	16	16	16	16

Для двухфакторного эксперимента, например, уравнение окажется следующим:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2, \quad (6.17)$$

а в общем случае

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{\substack{i,k=1 \\ i < k}} b_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2. \quad (6.18)$$

Поскольку количество коэффициентов в этом уравнении регрессии значительно больше, то и число необходимых опытов увеличится.

Если описанию области оптимума предшествует планирование первого порядка, то существует возможность включения его в новый план эксперимента. Центром нового плана может быть центр ПФЭ или его дробная реплика. При этом к плану первого порядка прибавляют определенное число точек, подобранных подходящим образом.

Новые точки располагают на координатных осях на расстоянии α от центра плана (рис. 6.7).

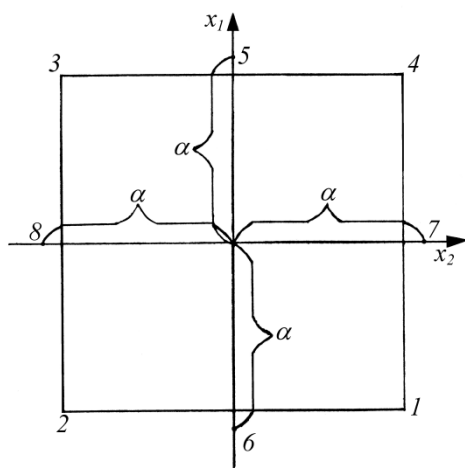


Рис. 6.7. Расположение опытов в центральном композиционном плане

Эти точки называют *звездными*, а расстояния α – звездным плечом. Кроме этого, прибавляют один или несколько опытов в центре плана. В зависимости от критерия, по которому выбирают звездное плечо, различают *ортогональные* центральные и *ротатабельные* центральные композиционные планы.

Число опытов N в центральных композиционных планах при m факторах определяют по формуле:

$$N = N_{\text{я.п.}} + N_{\alpha} + N_o,$$

где $N_{\text{я.п.}} = 2^{m-p}$ – число опытов в использованном плане первого порядка, составляющем так называемое *ядро плана* (здесь p – дробность реплики);

$N_{\alpha} = 2m$ – число звездных точек;

N_o – число опытов в центре плана.

В качестве примера на рис. 6.8 приведен центральный композиционный план при двух факторах [48].

Из-за звездных точек в расширенной матрице уже нет одинаковых

столбцов, какими были столбцы $\overset{\circ}{x}_0$, $\overset{\circ}{x}_1^2$ и $\overset{\circ}{x}_2^2$ в планах первого порядка. Это дает возможность определить коэффициенты перед $\overset{\circ}{x}_i^2$ ($i = 1, 2, \dots, m$). Но матрица осталась не ортогональной (во всяком случае, для столбцов $\overset{\circ}{x}_0$, $\overset{\circ}{x}_1^2$ и $\overset{\circ}{x}_2^2$).

Номер опыта	$\overset{\circ}{x}_0$	$\overset{\circ}{x}_1$	$\overset{\circ}{x}_2$	$\overset{\circ}{x}_1 \overset{\circ}{x}_2$	$\overset{\circ}{x}_1^2$	$\overset{\circ}{x}_2^2$	Место точек
1	+1	+1	-	-1	+1	+1	Ядро плана
2	+1	-1	-	+1	+1	+1	
3	+1	+1	+	+1	+1	+1	
4	+1	-1	+	-1	+1	+1	
5	+1	$+\alpha$	0	0	α^2	0	Звездные точки
6	+1	$-\alpha$	0	0	α^2	0	
7	+1	0	$+\alpha$	0	0	α^2	
8	+1	0	$-\alpha$	0	0	α^2	
9	+1	0	0	0	0	0	Центр плана

Рис. 6.8. Центральный композиционный план двухфакторного эксперимента

Чтобы матрица стала ортогональной относительно $\overset{\circ}{x}_0$, $\overset{\circ}{x}_1^2$ и $\overset{\circ}{x}_2^2$, необходимо сделать преобразования:

$$\tilde{x}_i^2 = \overset{\circ}{x}_i^2 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \overset{\circ}{x}_{ij}^2 = \overset{\circ}{x}_i^2 - \bar{\overset{\circ}{x}_i^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (6.19)$$

где $\tilde{x}_i^2 - 1$ новая переменная, в которую преобразуется переменная $\overset{\circ}{x}_i^2$;

$\bar{\overset{\circ}{x}_i^2}$ – среднее арифметическое значение переменной $\overset{\circ}{x}_i^2$, $i = 1, 2, \dots, m$.

Ортогонализировать столбцы $\overset{\circ}{x}_i^2$ между собой можно за счет звездного плеча α .

Если в качестве ядра матрицы используется ПФЭ, то звездное плечо определяют из уравнения:

$$\alpha^4 + 2^m \alpha^2 - 2^{m-2} (2m - N_0) = 0, \quad (6.20)$$

а в случае, когда ядро представляет реплика с дробностью p , то

$$\alpha^4 - 2^{m-p} \alpha^2 - 2^{m-p-2} (2m + N_0) = 0. \quad (6.21)$$

Результаты расчетов по этим формулам при $N_0 = 1$ приведены в табл. 6.8

Введение переменных \tilde{x}_i^2 вместо x_i^2 ($i = 1, 2 \dots m$) вызывает только изменение свободного члена b_0 по модели (6.18):

$$b_0 = b'_0 - \sum_{i=0}^m b_{ii} x_i^2, \quad (6.22)$$

где b'_0 - свободный член модели, в которой x_i^2 заменены на \tilde{x}_i^2 .

Таблица 6.8

Значения звездного плеча α при ортогональном центральном композиционном плане

p	m								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1,0	1,215	1,414	1,595	1,761	1,907	2,041	2,173	2,285
1	-	1,147	1,353	1,547	1,724	1,885	2,029	2,160	2,280
2	-	-	1,267	1,471	1,664	1,841	2,000	2,141	2,269
3	-	-	-	1,369	1,575	1,771	1,949	2,108	2,247
4	-	-	-	-	1,457	1,668	1,868	2,049	2,209
5	-	-	-	-	-	1,536	1,752	1,958	2,143

Из-за необходимости преобразования \tilde{x}_i , введения звездного плеча, коэффициенты регрессии b'_0 , b_i , b_{ij} и b_{ii} вычисляются по формулам:

$$b'_0 = \sum_{j=1}^N x_{0j} y_j / \sum_{j=1}^N x_{0j}^2; \quad b_i = \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j / \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 \quad (i = 1, 2, \dots, m),$$

$$b_{ij} = \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{kj} y_j / \sum_{j=1}^N (x_{ij} x_{kj})^2; \quad b_{ii} = \sum_{j=1}^N \tilde{x}_{ij}^2 y_j / \sum_{j=1}^N (\tilde{x}_{ij}^2)^2 \quad (6.23)$$

$i, k = 1, 2, \dots, m; i < k; i = 1, 2, \dots, m.$

Все коэффициенты регрессии, найденные таким образом, являются независимыми один от другого, но при возвращении от переменных \tilde{x}_i^2 к старым переменным x_i^2 , свободный член оказывается смешанным с коэффициентом b_{ii} (см. 6.22).

К преимуществам ортогональных центральных композиционных планов относятся простые и удобные расчетные формулы. Однако, с точки зрения точности предсказания значений параметров оптимизации, эти планы имеют недостатки.

Большую точность обеспечивают так называемые *D-оптимальные* планы, но число опытов в них очень велико.

Очень близкими к D-оптимальным, но гораздо более простыми по использованию оказались так называемые B_m -планы. Эти планы содержат ядро ПФЭ 2^m или ДФЭ 2^{m-p} и включают $2n$ звездных точек, которые расположены на координатных осях на расстоянии $\pm\alpha$ от центра эксперимента.

Особенностью этих планов является то, что величина α оказывается равной 1 для всех факторов, и центральной точки они не содержат.

В качестве примера на рис. 6.9 приведена матрица планирования B_m при $m = 3$ с ядром в виде ПФЭ 2^3 .

Номер опыта	Факторы			у	Номер опыта	Факторы			у
	x_1	x_2	x_3			x_1	x_2	x_3	
1	-1	-1	-1	y_1	9	-1	0	0	y_9
2	+1	-1	-1	y_2	10	+1	0	0	y_{10}
3	-1	+1	-1	y_3	11	0	-1	0	y_{11}
4	+1	+1	-1	y_4	12	0	+1	0	y_{12}
5	-1	-1	+1	y_5	13	0	0	-1	y_{13}
6	+1	-1	+1	y_6	14	0	-	+1	y_{14}
7	-1	+1	+1	y_7					
8	+1	+1	+1	y_8					

Рис. 6.9. Матрица планирования B_m для трехфакторного эксперимента

Первые восемь точек составляют ядро плана B_m и соответствуют полному факторному эксперименту 2^3 , а остальные шесть – звездные точки.

В этих точках варьируется только один какой-либо фактор x_j на нижнем или верхнем уровне, а остальные находятся в центре эксперимента, и их нормированные значения равны нулю.

Оценки коэффициентов регрессии вычисляются по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{2(m-1)} \left(\sum_{i=N_1+1}^N \bar{y}_i - \frac{1}{2^{m-p-1}} \sum_{i=1}^{N_1} \bar{y}_i \right); \quad (6.24)$$

$$b_{ii} = \frac{1}{2} \sum_{i=N_1+1}^N x_{ij}^2 \bar{y}_i - b_0; \quad (6.25)$$

$$b_j = \frac{1}{2 + 2^{m-p}} \sum_{i=1}^N x_{ij} \bar{y}_i; \quad (6.26)$$

$$b_{jk} = \frac{1}{2^{n-p}} \sum_{i=1}^N x_{ij} x_{ik} \bar{y}_i. \quad (6.27)$$

В формулах (6.24) и (6.25) – N_1 – число точек ядра плана, $N_1 = 2^{m-p}$.

После составления уравнения регрессии возможно нахождение оптимальных (максимальных или минимальных) точек этой функции.

Для этого нужно взять от нее все частные производные и приравнять нулю, т.е.

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial y}{\partial x_m} = 0 \end{array} \right\}. \quad (6.28)$$

Решение этой системы уравнений и определит значения параметров, оптимизирующих функцию.

Помимо определения координат центра поверхности отклика при исследовании моделей второго порядка желательно установить тип поверхности и место оптимума – внутри области варьирования факторов или на границах этой области.

Часто для решения этой задачи используют метод двухмерных сечений поверхности отклика (например, $y = f(x_1, x_2)$ и т.д.), которые представляют собой *изолинии* величины y .

Опыт исследования моделей, связанных с работой сельскохозяйственной техники, позволил акад. П.М. Василенко [49] определить, что поверхностями отклика чаще всего являются параболический цилиндр, эллиптический параболоид и гиперболический параболоид (рис. 6.10).

Поскольку исследование моделей второго порядка связано с многочисленными и трудоемкими вычислениями, то его осуществляют на компьютере с помощью разнообразных программ, например, *STATGRAPHICS Plus for WINDOWS* и др. Опыт исследования поверхностей отклика в среде *EXCEL* подробно изложен в работе М.И. Юдина [50], а примеры использования статистических пакетов *STATGRAPHICS-2.1*, *STATGRAPHICS for WINDOWS*, *STATISTIKA-5.0* – в книге А.М. Валге [51].

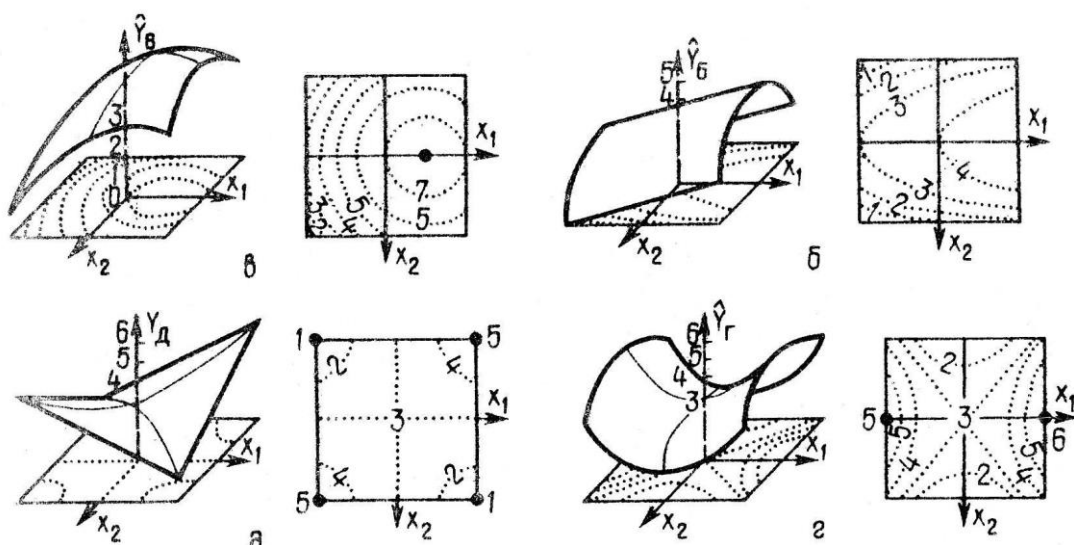


Рис. 6.10. Геометрические образы поверхностей второго порядка:
а) – эллиптический параболоид; б) – параболический цилиндр; в, г - разновидности гиперболического параболоида

6.2.6. Средства измерений и метрологический контроль за ними

В методике экспериментальной работы большое внимание отводится выбору *средств измерений* и метрологическому контролю за их состоянием.

При выборе средств измерений в первую очередь следует отдать предпочтение стандартным, серийно выпускаемым приборам, работа на которых регламентируется инструкциями, государственными или отраслевыми стандартами и другими официальными документами.

В отдельных случаях возникает потребность в создании лабораторных установок (в частности, для исследования того или иного технологического процесса) и оснащения их уникальными приборами и измерительными системами. При создании новых приборов, тем не менее, желательно использовать узлы выпускаемых приборов, реконструировать существующие средства измерения.

Ответственным моментом, завершающим эту работу, является установление точности измерений и погрешностей. Методы измерений должны базироваться на законах специальной науки – *метрологии*, обеспечивающих достижение требуемой точности.

В России всеми работами в области стандартизации, метрологии и сертификации руководит высший орган – *Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование)*. Оно осуществляет лицензирование деятельности по изготовлению и ремонту средств измерений, функции по государственному метрологическому контролю и надзору, а также контроль и надзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и технических регламентов. Агентство осуществляет руководство непосредственно через свои территориальные органы и через подведомственные организации (рис.6.11).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии руководит *Государственной метрологической службой (ГМС)*, которая несет ответственность за метрологическое обеспечение измерений в стране на межотраслевом уровне и государственный метрологический контроль и надзор.

Основная деятельность органов ГМС направлена на обеспечение единства измерений в стране. Она включает создание государственных и вторичных эталонов, разработку систем передачи размеров эталонов рабочим системам измерений, метрологическую экспертизу документации, государственный надзор за производством, ремонтом и применением средств измерений, методическое руководство метрологическими службами юридических лиц.

Такие службы создаются на предприятиях, в крупных учебных и научных центрах.

При выполнении работ в сферах государственного метрологического надзора и контроля создание МС обязательно.

Как правило, это самостоятельные структурные подразделения, в состав которых могут входить калибровочные и поверочные лаборатории, а

также подразделения по ремонту систем измерений.

Метрологические службы юридических лиц подлежат аккредитации на срок, не превышающий 5 лет.

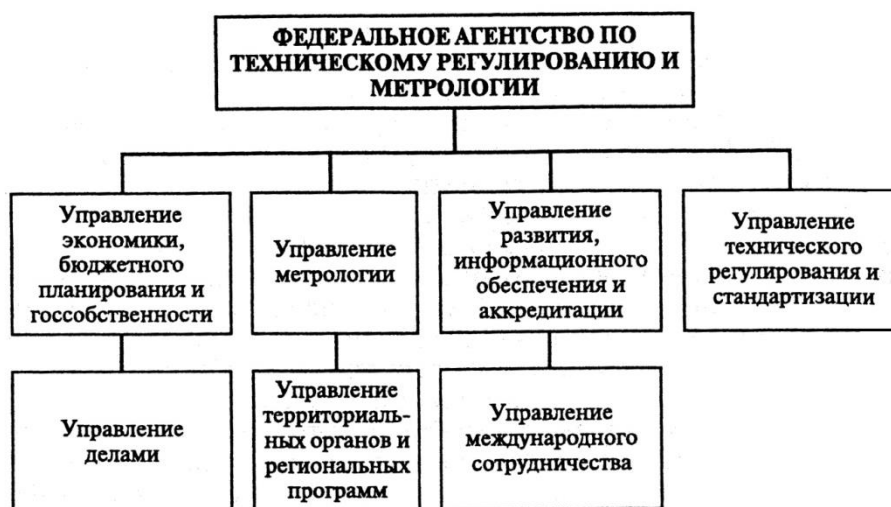


Рис. 6.11. Схема деятельности Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

К полномочиям государственного метрологического контроля и надзора относятся следующие сферы деятельности:

- здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- геодезические и гидрометеорологические работы;
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд;
- измерения, проводимые по поручению органов судов, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов;
- регистрация национальных и международных спортивных рекордов;
- инспекционные проверки в рамках государственного надзора для подтверждения качества первичных и периодических поверок, осуществляемых метрологическими службами юридических лиц.

В остальных случаях предприятия и организации вправе сами выбирать формы и режимы контроля средств измерений.

Основными формами контроля за состоянием средств измерений являются поверки и калибровки. Основные задачи поверок: обеспечение правильной передачи размеров единиц физической величины от эталона или образцового средства к рабочим средствам измерений (рис.6.12).

Эталоны классифицируют на первичные, вторичные и рабочие.

Первичный эталон воспроизводит единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной для данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Он может быть меж-

дународным (храниться в Международном бюро мер и весов (МБМВ) в Севре, вблизи Парижа, или национальным (государственным)).

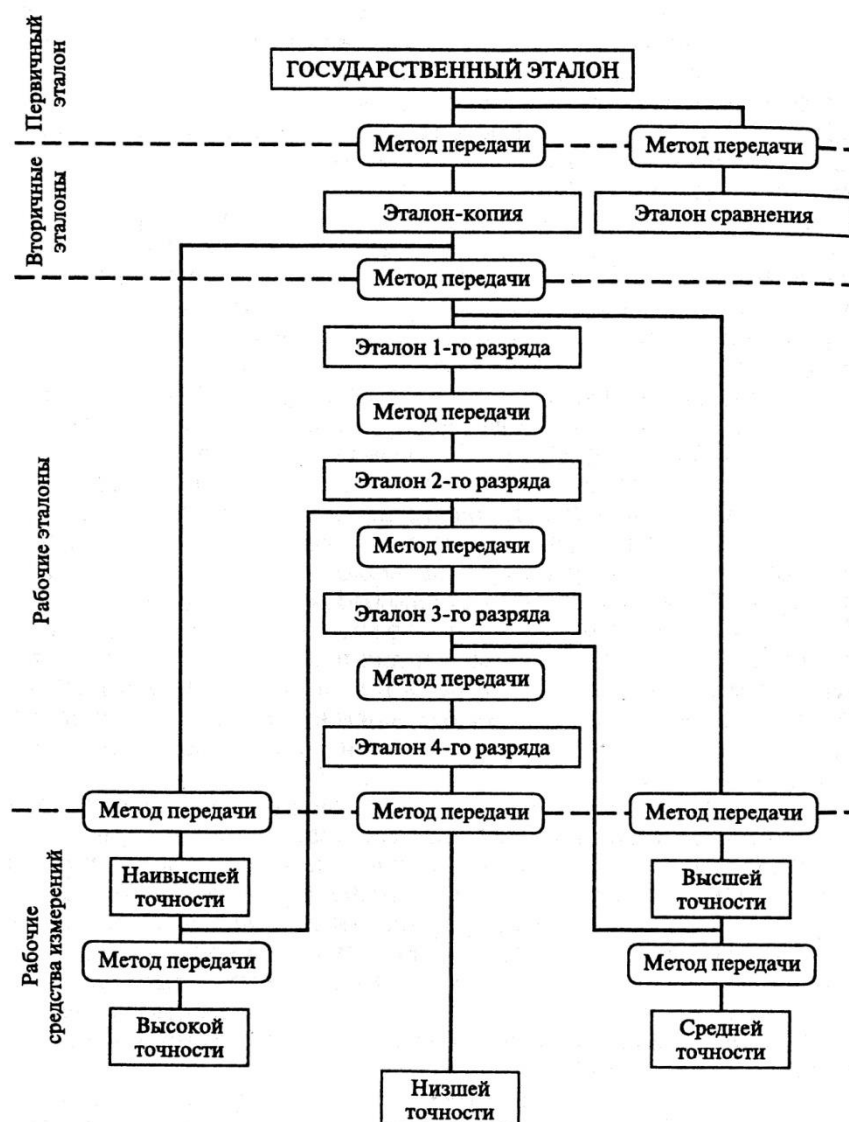


Рис. 6.12. Общий вид государственной поверочной схемы

Государственные эталоны периодически сличают с международными.

Вторичные эталоны могут утверждать Федеральное агентство по техническому регулированию или государственные научные метрологические центры.

Среди вторичных эталонов различают *эталон-свидетель*, предназначенные для проверки сохранности государственного эталона или замены его в случае порчи или утраты.

Эталон-сравнения, применяемые для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть сличены друг с другом или при проведении так называемых «круговых» сличений эталонов разных стран.

Эталон-копии используются для передачи информации о размере рабочим эталонам. *Рабочие эталоны*, в свою очередь, служат для передачи

информации нижестоящим эталонам (1, 2, 3 и 4-го разрядов) и другим средствам измерений.

При многоступенчатой передаче эталонная точность не доходит до потребителя, поэтому для высокоточных средств измерений число ступеней может быть сокращено вплоть до передачи им информации о размере единицы от эталона-копии.

Эталонная база России насчитывает более 150 государственных эталонов (механических, электрических, магнитных, тепловых, световых др.).

Существует несколько видов поверок:

- *первичная*, которую производят при выпуске прибора, его ремонте или при ввозе из-за границы;
- *периодическая*, через определенные межповерочные интервалы, которые зависят от типа прибора, ответственности, к которой могут привести неверные показания (риском может быть жизнь людей);
- для приборов, используемых при исследованиях сельскохозяйственной техники, межповерочные интервалы в основном составляют 1...2 года;
- *внеочередная* (повреждено клеймо, утеряны документы);
- *экспертная* – при возникновении разногласий.

Калибровка средств измерений

Калибровку приборов может осуществлять любая аккредитованная организация. Построение Российской системы калибровки (РКС) основывается на следующих принципах: добровольность вступления, обязательность получения размеров единиц от государственных эталонов; профессионализм и компетентность персонала, самоокупаемость и финансирование (рис. 6.13).

Основное звено РКС – калибровочная лаборатория.

Калибровка средства измерений – это совокупность операций, выполняемых калибровочной лабораторией с целью определения действительных значений метрологических характеристик и пригодности средства измерений к применению.

Особенно актуальна калибровка для нестандартных средств измерений или сложных измерительных систем, созданных для сугубо индивидуальных целей.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком или сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах.

Методы поверки (калибровки) и поверочные схемы

Допускается применение четырех методов поверки (калибровки) средств измерений: непосредственное сличение с эталоном; сличение с помощью компаратора; прямые измерения величины; косвенные измерения величины.

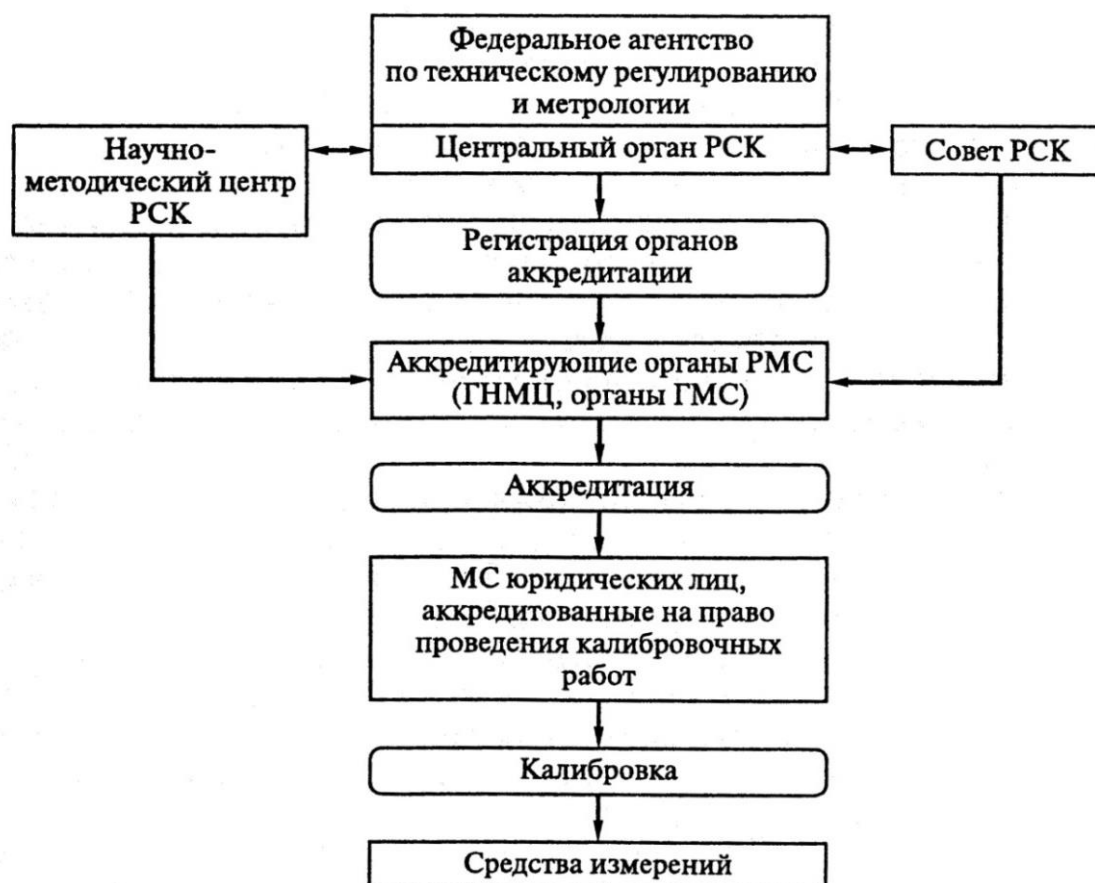


Рис. 6.13. Схема Российской системы калибровки

Метод непосредственного сличения поверяемого (калибруемого) средства измерения с эталоном соответствующего разряда состоит в одновременном измерении одной и той же физической величины проверяемым (калибруемым) и эталонным приборами.

Погрешность определяют как разницу показаний, принимая показания эталона за действительное значение величины.

Метод сличения с помощью компаратора основан на использовании прибора сравнения, с помощью которого сличают показания калибруемого и эталонного средства измерения.

Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину, например, двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой – переменного.

В подобных ситуациях в схему проверки вводится промежуточное звено – компаратор. Для приведенного примера будет нужен потенциометр, который и будет компаратором. На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы поверяемого и эталонного измерительного прибора.

Метод прямых измерений применяют, когда имеется возможность сличить испытуемый прибор с эталонным в определенных пределах измерений. Для перевода показаний прибора к единицам измеряемой величины не нужно проводить пересчета.

Метод косвенных измерений используют, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми измерениями, либо когда косвенные измерения оказываются более точными.

Примером косвенных измерений может служить определение влажности воздуха по его температуре и точке росы.

Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения от эталонов к рабочим средствам измерения составляют *поверочные схемы*, устанавливающие метрологические соподчинения государственного эталона, разрядных эталонов и рабочих органов.

Поверочные схемы могут быть государственными (в масштабах страны) или локальными (разрабатываются метрологическими службами предприятий и организаций).

Своевременное поверочное метрологическое обеспечение научных исследований и особенно обеспечение единства измерений может существенно повысить качество работ и уверенность экспериментатора в достижении успеха в работе.

Рабочее место экспериментатора и его организация

Рабочее место экспериментатора может быть в лаборатории (стационарное), в передвижных лабораториях и на мобильных агрегатах.

Во всех случаях у экспериментатора должен быть стол того или иного вида, желательно, чтобы на рабочем месте было хорошее освещение, чтобы на столе были розетки для включения приборов и паяльников.

К моменту начала эксперимента должны быть подготовлены журналы и тетради для записи промежуточных результатов.

Нужно стремиться к тому, чтобы в журнале не было исправлений, а если это случится, то нужно указать причину.

Исполнитель обязан постоянно следить за работой приборов, соблюдать требования техники безопасности, пожарной профилактики.

Влияние психологических факторов на ход и качество эксперимента

В процессе проведения опытов измерения различных показателей не могут быть выполнены абсолютно точно. Погрешности возникают вследствие неточностей приборов, несовершенства методик, влияния ряда неучтенных факторов, субъективных особенностей экспериментатора. Если случайные ошибки могут как-то быть оценены методами математической статистики, то исправить субъективные бывает очень трудно.

Источниками субъективных оценок часто являются психологические или психофизиологические причины – плохое зрение, нечеткое изображение и освещение шкал приборов, вызывающие утомляемость экспериментатора.

Психологическими причинами являются различные психологические барьеры и инерционность мышления.

Часто новые неожиданные результаты эксперимента исследователь стремится понять в рамках старых, привычных представлений, и если они не укладываются в прежние понятия, то рассматриваются как промахи и

отбрасываются. Иногда исследователь в процессе анализа результатов эксперимента бессознательно подгоняет экспериментальные данные в рамки выдвинутой гипотезы. Если обнаруживаются факты, противоречащие гипотезе, то при большом желании всегда можно объяснить их появление какими-то случайными воздействиями.

Делать это нельзя помимо нравственного, но еще, по меньшей мере, двум прагматическим соображениям.

Следует иметь ввиду, что аналогичные исследования где-то уже могли быть, или ведутся одновременно с вами, а может быть, будут повторены в будущем. Так или иначе, ошибка обязательно будет вскрыта (наука на то и наука).

Ну а самое главное, успокоившись за модель с противоречивыми результатами, теряется время на поиск причин неудачи и последующего совершенствования модели. Очень уж показателен в этом смысле случай, с которым столкнулись физики-атомщики в 30-е годы прошлого столетия, когда с помощью нейтронов начали расщеплять атомное ядро. В опытах оказывалось, что масса осколков ядра меньше исходного. Разумеется, прежде всего, списали этот факт на ошибку опыта.

Австрийский физик Лиза Мейтнер первой усомнилась в возможности ошибки (терялась 1/5 часть протона, а опыты проводились с особой тщательностью) и предположила возможность превращения потерянной массы в энергию (следуя формуле А.Эйнштейна $E = mc^2$).

Подсчеты показали, что потерянная часть массы протона соответствует 200 миллионам электронвольт энергии.

Таким образом, объяснение «неудачных» опытов привело к открытию мощного источника энергии.

7.0. Обработка результатов исследований

7.1. Ошибки измерений и их классификация

Все экспериментальные данные получены путем измерения некоторых (как правило, в сфере механики) физических величин.

Под измерением обычно понимают сравнение измеряемой величины с ее эталоном. Поскольку при обычных технических измерениях использование истинных эталонов недоступно, то такое определение требует уточнения. В настоящее время считают, что *измерение – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины* [51].

В этом определении учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть (сравнение с единицей, зафиксированной на том или ином носителе) и показан гносеологический аспект (получение значения величины).

Кроме всего прочего, данное определение позволяет предвидеть и возможность появления *ошибок измерений*, которые могут возникнуть в результате несовершенства методики (например, свойства материала, допустим, почвы, могут измениться во время опытов; свойств и точности технического средства, хранящего единицу измерения (класс точности прибора или другого измерительного средства)).

Поспорить с определением можно в его заключительной части «...получить значение этой (измеряемой) величины». Из-за неизбежности ошибок и ограничения количества измерений «*получить значения*», видимо, невозможно. Речь должна, по-видимому, идти только *об оценке измеряемой величины и ее интерпретации*.

Таким образом, в задачу измерений и обработки их результатов должны войти оценки ошибок, связанных как непосредственно с процедурой сравнения с эталоном, так и обобщения результатов, полученных на ограниченном количестве объектов (выборке) на всю генеральную совокупность. Иными словами, при измерении необходимо произвести оценку измеряемой величины и указать на возможную степень отклонения от истинного значения.

Поскольку причин возникновения ошибок измерений много, то это не может не отразиться на их классификации. Существует несколько признаков, по которым классифицируются ошибки измерений, например, по *происхождению* (личные, внешние, методические); по *форме числового выражения* (абсолютные, относительные, приведенные) и т.д. Но наиболее распространенным основанием классификации является *закономерность* их появления: *систематические, случайные и промахи* (грубые ошибки).

Одной из основных забот при измерениях должно быть исключение или, во всяком случае, учет систематических ошибок. Систематические ошибки могут существенно исказить результаты измерений (допустим, из-

меряют урожайность зерновых культур без учета влажности).

Среди систематических ошибок выделяют:

- ошибки, природа которых известна, их величина может быть достаточно точно определена (например, температурное удлинение деталей, влияние влажности на физико-механические свойства и т.д.), так что их можно при обработке результатов исключить *поправками*;

- ошибки известного происхождения, но неизвестной величины (погрешности измерительных приборов могут быть оценены по метрологическим характеристикам);

- ошибки, о существовании которых исследователь не знает, хотя величина их может быть значительной (допустим, измеряется плотность некоего образца, а внутри его оказалась раковина или какое-либо включение).

Если существует опасность возникновения таких ошибок, то используют приборы, исключающие их появление (принцип *заранее подложенной подушки*). Например, при определении плотности сыпучих материалов применяют так называемые *литровые пурки*, в которых процесс заполнения организован так, что образование пустот внутри образца исключается, и обеспечивается заранее лимитированное уплотнение материала.

В сомнительных и неожиданных случаях желательно провести контрольное измерение на другом образце и иными средствами.

Случайные ошибки – это такие погрешности, причины которых неизвестны, предсказать и учесть их нельзя. Обнаруживаются ошибки тем, что при повторных измерениях результаты оказываются различными.

Случайные ошибки образуются в результате действия мелких не учитываемых причин, каждая из которых вносит небольшой вклад в общую ошибку.

Проведение некоторого числа повторных опытов и использование методов теории вероятностей и математической статистики позволяют уточнить результат измерения, т.е. найти оценку измеряемой величины, более близкую к действительному значению, чем результат одного измерения.

Погрешности отдельных измерений, вызванные случайными причинами, не следует смешивать с тем, что разница в показаниях приборов часто связана с тем, что измерению подлежат некоторые случайные величины или случайные процессы, имеющие несравнимо большую изменчивость по сравнению с приборными помехами.

В то же время методика оценок случайных ошибок является общей – математическая статистика.

Промахи – грубые погрешности, связанные с ошибками оператора, сбоями в измерительных цепях или неучтенными внешними воздействиями (например, наезды почвообрабатывающих машин на камень, корень и т.п.).

Достаточно часто бывает трудно отделить грубые погрешности от экстремальных значений измеряемой величины.

В сомнительных случаях исключать подозреваемые на промах показания можно только после анализа с использованием современных методов математической статистики.

Обработка опытов, как правило, проводится в несколько этапов:

- *предварительный*, заключающийся в просмотре всех экспериментальных данных, при котором отмечают все резко отличающиеся величины, и убеждаются в том, что процесс не выходит за рамки регистрирующих устройств;

- *основной*, во время которого определяются точечные и интервальные оценки исследуемых величин и точность измерений, возможные взаимодействия факторов, коэффициенты уравнения;

- *заключительный* – позволяющий сформулировать статистические выводы о существенности отличий оценок измерений, проверке нулевых гипотез, адекватности исследуемых моделей.

Еще при постановке экспериментов необходимо учитывать, что обработка результатов в настоящее время производится с помощью компьютеров и, следовательно, объем обрабатываемой информации может быть большим, что позволяет снизить уровень возможной погрешности в оценке опытов.

7.2. Точечные оценки измеряемых параметров

Под *оценкой* некоторого генерального параметра понимают функцию выборочных значений, приближенно заменяющую неизвестное истинное значение оцениваемого генерального параметра.

Оценку параметра a обычно обозначают как \tilde{a} .

Оценки такого рода называют *точечными*.

Поскольку оценка зависит от случайных значений x_i ,

$$\tilde{a} = f(x_1, x_2 \dots x_n),$$

она сама представляет собой случайную величину.

Закон распределения \tilde{a} должен зависеть от закона распределения величины x и числа опытов n . В принципе этот закон может быть определен методами теории вероятностей. От оценки \tilde{a} естественно потребовать, чтобы с увеличением числа опытов n она приближалась к a .

Оценки, обладающие таким свойством, называются *состоятельными*.

Кроме этого желательно, чтобы использование оценки \tilde{a} вместо истинного параметра a не приводило к завышению или занижению, т.е. чтобы ее математическое ожидание равнялось a :

$$M[\tilde{a}] = a.$$

Оценка, удовлетворяющая этому условию, называется *несмещенной*.

Наконец желательно, чтобы выбранная оценка была *эффективной*, т.е. обладала бы наименьшей дисперсией среди возможных вариантов.

Разумеется, что на практике не всегда удастся использовать оценки, удовлетворяющие всем этим требованиям. Иногда в интересах простоты расчетов используют, например, слегка смещенные оценки. Однако выбору оценки всегда должен предшествовать анализ, т.е. критическое рассмотрение со стороны всех перечисленных требований.

В теории вероятностей и математической статистике разработано

большое число методов точечного оценивания параметров по выборочным данным. Из них на практике наибольшее распространение получили следующие:

- закон больших чисел;
- метод моментов;
- метод максимального правдоподобия;
- метод наименьших квадратов.

Использование данных методов [38], [52], [53] позволило разработать ГОСТ Р 50779.22Т-2005 (ИСО 2602:1980) «Статистическое представление данных», согласно которому, в случае несгруппированных результатов изменений математического ожидания m , оценивают как среднее арифметическое \tilde{x} из n результатов:

$$\tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (7.1)$$

В этом же стандарте отмечается, что в расчете используются все значения x_i , оставшиеся после отбрасывания сомнительных результатов. При этом обращается внимание на то, что недопустимо отбрасывать любые результаты наблюдений или корректировать их без доказательств на экспериментальной, технической или какой-либо другой основе, которая должна быть четко установлена.

Когда число результатов достаточно велико (например, более 50), может быть выгодно сгруппировать их в классы одинаковой ширины. Частоты в каждом классе обозначают n_i . Среднюю точку класса обозначают y_i , тогда математическое ожидание m оценивают как взвешенное среднее всех средних точек классов:

$$\tilde{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i y_i ,$$

где k – число классов.

Оценки для дисперсии

На первый взгляд, наиболее естественной оценкой представляется статистическая дисперсия:

$$D^* = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{m})^2}{n} ,$$

где \tilde{m} – оценка математического ожидания.

Но такая оценка оказалась смещенной, и результат вычисления получается заниженным по сравнению с истинным значением.

Такой оценкой стандарты на измерения позволяют пользоваться лишь в том случае, если известно точное значение математического ожидания генеральной совокупности a , т.е.

$$\tilde{D}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2 . \quad (7.2)$$

Если же вместо a используется ее оценка, вычисленная под тем же значением x_i , то несмещенной, *откорректированной* (или часто говорят *исправленной*) оценкой будет величина:

$$\tilde{D}(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2 . \quad (7.3)$$

Аналогично определяется и среднеквадратическое отклонение:

$$\tilde{\sigma}(x) = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \tilde{x})^2}{n-1}} . \quad (7.4)$$

При многочисленных измерениях

$$\frac{1}{n-1} \approx \frac{1}{n} ,$$

поэтому в целях упрощения расчетов в этих случаях

$$\tilde{D}_x \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2 ,$$

т.е. используют слегка смещенную оценку.

Величины точечных оценок могут зависеть еще от способа измерений (прямые, однократные, равноточные и неравноточные, косвенные и т.д.).

Прямые однократные измерения. Погрешность результата прямого однократного измерения зависит от ряда причин, но, прежде всего, от точности используемых средств измерений. Поэтому в первом приближении погрешность результата измерений можно принять равной погрешности, которой в данной точке диапазона измерений характеризуется используемая СИ.

В общем случае дополнительно к этому добавляются дополнительные погрешности от влияния внешних причин (температура, влажность и т.д.):

$$\Delta_\varepsilon = \left| \Delta_{СИ} + \sum_{i=1}^m \Delta_{\partial on} \right| .$$

Более реальную оценку погрешности можно получить статистическим сложением составляющих погрешности:

$$\Delta_\varepsilon = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_i^2} ,$$

где Δ_i – граница i -той, не исключенной составляющей систематической погрешности, включающей в себя погрешности средства, метода, дополнительные погрешности и др.;

k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью (при $P = 0,95$, коэффициент $k = 1,11$);

m – число не исключенных составляющих.

Результат измерений записывается по первой форме записи результатов согласно ГОСТ 8.011-72 «Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений»:

$$x_n; \quad \Delta = \pm \Delta_{\Sigma}; \quad p = 0,95,$$

где x_n – результат однократного измерения; Δ_{Σ} – суммарная погрешность результата измерений; p – доверительная вероятность (при $p = 0,95$ может не указываться).

При проведении измерений в нормальных условиях можно считать $\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{СИ}}$.

Более подробно методика обработки прямых однократных измерений приведена в рекомендациях МИ 1552-86 ГСИ «Измерения прямые однократные».

Оценивание погрешностей результатов измерений

Неравноточные измерения

В практике измерений могут встречаться так называемые *неравноточные измерения*.

Может быть это измерения, проведенные с помощью приборов различного класса в течение нескольких дней или наблюдателями различной квалификации и опыта.

В опытах получены различные оценки математического ожидания и дисперсии.

При оценке общего результата и его погрешности в этом случае учитывают *степень доверия* к полученным результатам в виде «*веса*», который устанавливают для каждой серии измерений. Способ установления «*веса*» может быть принят на основе экспертных оценок, либо пропорционально числу измерений или величина дисперсии в каждой из серий опытов.

Чем больше степень доверия к результатам измерений, тем больше «*вес*» серии.

Среднее взвешенное значение измеряемой величины в этом случае находят как

$$\tilde{x}_o = \frac{x_1 P_1 + x_2 P_2 + \dots + P_m x_m}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_m}, \quad (7.5)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ – средние значения, полученные в разных сериях опытов;
 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$ – вес отдельных серий.

Очень часто веса соответствующих групп берут пропорциональными их дисперсиям, т.е. используют зависимость

$$P_1 : P_2 : P_3 : P_m = 1/\tilde{\sigma}_1^2 : 1/\tilde{\sigma}_2^2 : 1/\tilde{\sigma}_3^2 : 1/\tilde{\sigma}_m^2.$$

Среднеквадратическая погрешность средневзвешенного значения S_0 определится по формуле:

$$S_o = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^m P_i}},$$

где P_i – вес группы измерений;

m – число групп.

Косвенные измерения. При косвенных измерениях значение физической величины y определяется по функциональной зависимости:

$$y = f(a_1, a_2, \dots, a_m).$$

Естественно, что при этой же закономерности определяют оценку y , т.е.

$$\tilde{y} = f(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_m).$$

Для определения общей суммарности погрешности измерений необходимо определить погрешности, вызванные каждым фактором Δa_j , а затем сложить их пропорционально коэффициентам влияния соответствующих факторов, которые находят как частные производные $\partial f / \partial a_j$.

$$\Delta_{cy} = \sum_{j=1}^m \left(\partial f / \partial a_j \right) \Delta a_j. \quad (7.6)$$

Точно так же поступают при определении оценки дисперсии:

$$\sigma^2[\Delta_{cy}] = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial a_j} \right)^2 \sigma_j^2. \quad (7.7)$$

Определение суммарной составляющей погрешности можно упростить с использованием критерия «ничтожной погрешности».

Считают, что если меньшая по значению случайная погрешность σ_2 втрое меньше σ_1 (большая из всех), т.е. $\sigma_2 < 0,3\sigma_1$, то ею можно пренебречь.

7.3. Интервальные оценки измеряемых параметров

При малом числе наблюдений замена параметров « a » их точечными оценками \tilde{a} может привести к серьезным ошибкам. В этом случае актуальной становится задача определения точности и надежности полученных оценок. Такая задача в математической статистике решается с помощью построения доверительных интервалов при заданных уровнях доверительной вероятности.

Допустим, что для параметра « a » получена из опыта оценка \tilde{a} , значения которой может быть отложено на числовой оси (рис. 7.1).

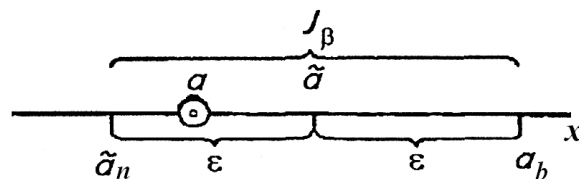


Рис.7.1. Схема образования доверительного интервала

С полной вероятностью о положении истинного значения параметра « a » можно сказать, что оно окажется в интервале от $-\infty$ до $+\infty$.

Такая информация является тривиальной, бесполезной. Но если назначить некоторый меньший уровень доверительной вероятности β (например, $\beta = 0,9; 0,95; 0,99$), но все-таки такой, чтобы событие можно было бы считать практически достоверным, то интервал возможного отклонения ϵ окажется меньше, и по его значению судят о точности оценки.

Иными словами, вероятность того, что истинное значение окажется

внутри интервала $(a - \varepsilon)$ и $(a + \varepsilon)$ будет равна β , т.е.

$$P[(\tilde{a} - \varepsilon) < a < (\tilde{a} + \varepsilon)] = \beta.$$

Границами интервала будут точки a_n (нижняя), a_e (верхняя). Величина всего интервала

$$I_\beta = (\tilde{a} - \varepsilon); (\tilde{a} + \varepsilon) \quad (7.8)$$

называется *доверительным интервалом*.

Ранее уже отмечалось, что для определения вероятности попадания случайной величины в определенный интервал необходимо знать закон ее распределения $F(x)$.

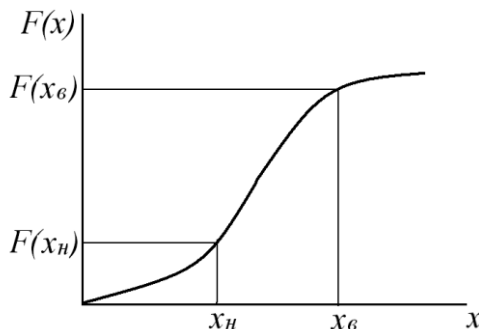


Рис. 7.2. Закон распределения случайной величины

Вероятность того, что случайная величина x окажется в интервале $x_n \dots x_e$, равна:

$$P(x_n < x < x_e) = F(x_e) - F(x_n). \quad (7.9)$$

Таким образом, наибольшая сложность в построении доверительных интервалов состоит в определении законов распределения выборочных значений оценок \tilde{x} и $\tilde{\sigma}^2$.

Еще в 1908 г. английский математик У.Госсет, печатавшийся под псевдонимом «Стьюдент» вывел закон распределения величины:

$$t = \frac{\tilde{x} - m}{\tilde{\sigma}} \sqrt{n}. \quad (7.10)$$

С тех пор этот закон носит название *распределение Стьюдента* или *t-распределение* с параметрами $k = n - 1$ (число степеней свободы).

Плотность распределения Стьюдента равна:

$$f_k(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)\sqrt{k\pi}} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}, \quad (7.11)$$

где $\Gamma_{(k)} = (k-1)!$ – гамма-функция.

Кривая распределения Стьюдента симметрична относительно начала координат, но медленнее приближается к 0 при $t \rightarrow \infty$, чем дифференциальная функция нормального распределения (рис.7.3).

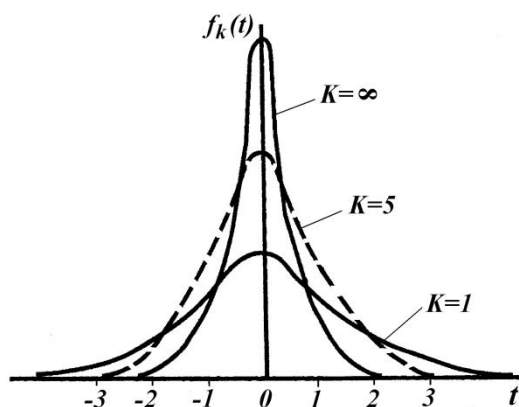


Рис. 7.3. Дифференциальная функция распределения Стюдента

Считают, что при $k = 30$ и более распределение Стюдента становится очень близким к нормальному распределению.

Разность $|\tilde{x} - m|$ и представляет возможное отклонение математического ожидания от его оценки \tilde{x} , т.е.

$$|\tilde{x} - m| \leq \varepsilon.$$

Поскольку из уравнения (7.10) следует, что

$$(\tilde{x} - m) = \frac{t\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}, \text{ то}$$

$$\frac{t\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} \leq \varepsilon.$$

Величина t зависит от числа степеней свободы $k = n - 1$, и доверительной вероятности β , поэтому ее чаще обозначают t_β , и находят по таблицам t -распределения Стюдента или вычисляют на ЭВМ.

Доверительный интервал для математического ожидания определится пределами:

$$J_\beta = \left(\tilde{x} - t_\beta \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}}; \tilde{x} + t_\beta \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}} \right), \quad (7.12)$$

где \tilde{D} – выборочное значение дисперсии, $\tilde{D} = \tilde{\sigma}^2$.

Помимо этого общепринятого в математической статистике метода построения доверительного интервала для математического ожидания ГОСТ Р-50779.22-2005 «Точечная оценка и доверительный интервал для среднего» предусматривает альтернативные методы его вычисления, позволяющие упростить работу и выполнить ее быстрее.

Прежде всего, это способ, основанный на учете «размаха» выборки. Этот метод рекомендуется применять в случаях, когда количество измерений мало, например 12 или менее.

Если результаты измерений ранжированы так, что

$x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n$, то $W = x_n - x_1$ является размахом выборки.

Двусторонний доверительный интервал для среднего m совокупности определяют по следующим формулам:

а) при доверительной вероятности $\beta = 1 - \alpha = 0,95$, где α - уровень значимости (или уровень риска):

$$(\tilde{x} - q_{0,975}W) < m < (\tilde{x} + q_{0,975}W); \quad (7.13)$$

б) при доверительной вероятности $\beta = 1 - \alpha = 0,99$

$$(\tilde{x} - q_{0,995}W) < m < (\tilde{x} + q_{0,995}W). \quad (7.14)$$

Значения коэффициентов $q_{1-\alpha/2}(q_{0,075}; q_{0,995})$ находят с помощью табл. 7.1.

Таблица 7.1

Значение $q_{1-\alpha}$ для одностороннего доверительного интервала
и значения $q_{1-\alpha/2}$ для двустороннего доверительного интервала

N	$q_{1-\alpha/2}$ – для двустороннего доверительного интервала, доверит. вероятности		$q_{1-\alpha}$ – для одностороннего доверительного интервала	
	0,95	0,99	0,95	0,99
	$q_{0,975}$	$q_{0,995}$	$q_{0,95}$	$q_{0,99}$
2	6,353	31,828	3,157	15,910
3	1,304	3,008	0,885	2,111
4	0,717	1,316	0,529	1,023
5	0,507	0,843	0,388	0,685
6	0,399	0,628	0,312	0,523
7	0,333	0,507	0,263	0,429
8	0,288	0,429	0,230	0,366
9	0,255	0,374	0,205	0,322
10	0,230	0,333	0,186	0,288
11	0,210	0,302	0,170	0,262
12	0,194	0,277	0,158	0,241

Помимо двусторонних доверительных интервалов могут быть односторонние.

Односторонний доверительный интервал представляет собой оценку в виде:

$$m < (\tilde{x} + q_{0,95}W) \text{ или } m > (\tilde{x} - q_{0,95}W), \quad (7.15)$$

при доверительной вероятности $\beta = 0,95$ и

$$m < (\tilde{x} + q_{0,99}W) \text{ или } m > (\tilde{x} - q_{0,99}W) \quad (7.16)$$

при доверительной вероятности $\beta = 0,99$.

Построение доверительных интервалов для среднего m совокупности с использованием распределения Стьюдента ГОСТом также усовершенствовано.

Двусторонний доверительный интервал определяют по следующим формулам:

а) для доверительной вероятности 0,95:

$$\left(\tilde{x} - \frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}} S \right) < m < \left(\tilde{x} + \frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}} S \right), \quad (7.17)$$

б) для доверительной вероятности 0,99:

$$\left(\tilde{x} - \frac{t_{0,995}}{\sqrt{n}} S \right) < m < \left(\tilde{x} + \frac{t_{0,995}}{\sqrt{n}} S \right), \quad (7.18)$$

где S – принятое данным ГОСТом обозначение среднеквадратического отклонения выборки, т.е. $S = \sigma$.

Односторонние доверительные интервалы определяют в этой методике по одной из следующих формул.

а) для доверительной вероятности 0,95:

$$m < \left(\tilde{x} + \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} S \right) \text{ или } m > \left(\tilde{x} - \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}} S \right); \quad (7.19)$$

б) для доверительной вероятности 0,99:

$$m < \left(\tilde{x} + \frac{t_{0,99}}{\sqrt{n}} S \right) \text{ или } m > \left(\tilde{x} - \frac{t_{0,99}}{\sqrt{n}} S \right). \quad (7.20)$$

При этом \tilde{x} , если необходимо, может быть заменено на \tilde{y} в случае сгруппированных в классы результатов наблюдений.

Здесь $t_{0,975}$, $t_{0,995}$, $t_{0,95}$, $t_{0,99}$ – квантили распределения Стьюдента с $\nu = n + 1$ степенями свободы.

Их значения даны в табл. 7.2

В этой же таблице указаны также значения соотношений:

$$\frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}}, \frac{t_{0,995}}{\sqrt{n}}, \frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}}, \frac{t_{0,99}}{\sqrt{n}}.$$

Таблица 7.2

Значение $t_{1-\alpha}$ и отношения $t_{1-\alpha}/\sqrt{n}$ – для одностороннего интервала, значения $t_{1-\alpha/2}$ и отношения $t_{1-\alpha/2}/\sqrt{n}$ – для двустороннего интервала

n	Доверительная вероятность для двустороннего доверительного интервала		Доверительная вероятность для одностороннего доверительного интервала		n	Доверительная вероятность для двустороннего доверительного интервала		Доверительная вероятность для одностороннего доверительного интервала	
	0,95	0,99	0,95	0,99		0,95	0,99	0,95	0,99
	$t_{0,975}$	$t_{0,995}$	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$		$\frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}}$	$\frac{t_{0,995}}{\sqrt{n}}$	$\frac{t_{0,95}}{\sqrt{n}}$	$\frac{t_{0,99}}{\sqrt{n}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	12,71	63,66	6,314	31,82	2	8,985	45,013	4,465	22,501
3	4,303	9,925	2,920	6,965	3	2,484	5,730	1,686	4,021
4	3,182	5,841	2,353	4,541	4	1,591	2,920	1,177	2,270
5	2,776	4,604	2,132	3,747	5	1,242	2,059	0,953	1,676
6	2,571	4,032	2,015	3,365	6	1,049	1,646	0,823	1,374
7	2,447	3,707	1,943	3,143	7	0,925	1,401	0,734	1,188
8	2,365	3,499	1,895	2,998	8	0,836	1,237	0,670	1,060
9	2,306	3,355	1,860	2,896	9	0,769	1,118	0,620	0,966

Продолжение таблицы 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	2,262	3,250	1,833	2,821	10	0,715	1,028	0,580	0,892
11	2,228	3,169	1,812	2,764	11	0,672	0,956	0,546	0,833
12	2,201	3,106	1,796	2,718	12	0,635	0,897	0,518	0,785
13	2,179	3,055	1,782	2,681	13	0,604	0,847	0,494	0,744
14	2,160	3,012	1,771	2,650	14	0,577	0,805	0,473	0,708
15	2,145	2,977	1,761	2,624	15	0,554	0,769	0,455	0,668
16	2,131	2,947	1,753	2,602	16	0,533	0,737	0,438	0,651
17	2,120	2,921	1,746	2,583	17	0,514	0,708	0,423	0,627
18	2,110	2,898	1,740	2,567	18	0,497	0,683	0,410	0,605
19	2,101	2,878	1,734	2,552	19	0,482	0,660	0,398	0,586
20	2,093	2,861	1,729	2,539	20	0,468	0,640	0,387	0,568
21	2,086	2,845	1,725	2,528	21	0,455	0,621	0,376	0,552
22	2,080	2,831	1,721	2,518	22	0,443	0,604	0,367	0,537
23	2,074	2,819	1,717	2,508	23	0,432	0,588	0,358	0,523
24	2,069	2,807	1,714	2,500	24	0,422	0,573	0,350	0,510
25	2,064	2,797	1,711	2,492	25	0,413	0,559	0,342	0,498
26	2,060	2,787	1,708	2,485	26	0,404	0,547	0,335	0,487
27	2,056	2,779	1,706	2,479	27	0,396	0,535	0,328	0,477
28	2,052	2,771	1,703	2,473	28	0,388	0,524	0,322	0,467
29	2,048	2,763	1,701	2,467	29	0,380	0,513	0,316	0,458
30	2,045	2,756	1,699	2,462	30	0,373	0,503	0,310	0,449
40	2,024	2,707	1,682	2,430	40	0,320	0,428	0,266	0,384
50	2,008	2,680	1,676	2,404	50	0,284	0,379	0,237	0,340
60	2,000	2,664	1,673	2,393	60	0,258	0,344	0,216	0,309

Если значения n больше 60, то значения t рекомендуется вычислять методом линейной интерполяции $120/n$, используя табл. 7.3.

Пример:

$$n = 250; 120/n = 0,48;$$

$$t_{0,095} = 2,577 + 0,48 (2,617 - 2,576) = 2,596.$$

Таблица 7.3

Значения $t_{0,975}$, $t_{0,995}$, $t_{0,95}$, $t_{0,99}$ при $n \geq 60$.

n	$\frac{120}{n}$	$t_{0,975}$	$t_{0,995}$	$t_{0,95}$	$t_{0,99}$
60	2	2,00	2,664	1,673	2,393
120	1	1,980	2,617	1,658	2,358
	0	1,960	2,576	1,645	2,326

Представление результатов

Представляют выражение для оценки математического ожидания:

$$(\bar{x} = \sum x/n) \text{ или } \tilde{y}_1 = \frac{y_1 n_1 + y_2 n_2 + \dots + y_n n}{n}.$$

Выражают доверительный интервал в форме неравенства (7.12) или (7.17).

Указывают количество результатов, исключенных из-за сомнительности, и причины исключения.

Пример.

Изучается послеремонтный износ сопряжения «втулка шатуна – поршневой палец» у двигателя СМД [55].

Ввиду большой трудоемкости опыта (измерения после ремонта, наблюдения в период всего цикла работы, разборка двигателя и измерения по окончании опытов) исследован износ только на 8 двигателях.

Результаты измерений втулки шатуна первого цилиндра двигателя представлены в табл. 7.4.

Таблица 7.4.

Результаты исследования износа втулки шатуна двигателя СМД [55]

№ трактора	Наработка общая, моточасы	Диаметр начальный, мм	Диаметр после износа, мм	Износ за период наработки, мм	Износ, отнесенный к 1000 моточасов, мкм	Отклонения от среднего, мкм	Квадрат отклонений, мкм ²
1	1800	42,031	42,125	0,094	52,22	8,26	68,22
2	2200	42,024	42,146	0,122	55,45	11,49	130,02
3	1540	42,028	42,084	0,056	36,36	-7,6	57,76
4	1500	42,034	42,087	0,053	35,33	-8,63	74,48
5	1700	42,027	42,092	0,065	38,24	-5,72	32,72
6	3240	42,032	42,191	0,159	49,07	5,11	26,11
7	1980	42,036	42,108	0,072	36,36	-7,6	57,76
8	3250	42,025	42,183	0,158	48,62	4,66	21,72
Σ	17210				351,65		468,79

Поскольку измерений мало и необходимости в группировке результатов измерений нет, то

$$\tilde{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{351,65}{8} = 43,96 \text{ мкм.}$$

Исправленное значение выборочной дисперсии равно:

$$\tilde{D} = \frac{\sum (x_i - \tilde{x})^2}{n-1} = \frac{468,79}{8-1} = 66,97 \text{ мкм}^2.$$

Оценка среднеквадратического отклонения окажется равной:

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\tilde{D}} = \sqrt{66,97} = 8,18 \text{ мкм.}$$

Доверительный интервал для среднего значения:

а) по общепринятой методике математической статистики

$$J_{\beta} = \left(\tilde{m}_x - t_{\beta} \sqrt{\frac{\tilde{D}_x}{n}}; \tilde{m}_x + t_{\beta} \sqrt{\frac{\tilde{D}_x}{n}} \right),$$

если, например, $\beta = 0,95$, а $k = n - 1 = 8 - 1 = 7$, то $\beta_{0,95} = 2,36$, а в слу-

чае $\beta = 0,99$, при $k = 7$, $\beta_{0,99} = 3,5$;

(значения t_{β} найдены по таблицам t-распределения Стьюдента)

$$J_{0,95} = \left(43,96 - 2,36\sqrt{\frac{66,97}{8}}; 43,96 + 2,36\sqrt{\frac{66,97}{8}} \right) = (37,13; 50,79).$$

$$J_{0,99} = \left(43,96 - 3,5\sqrt{\frac{66,97}{8}}; 43,96 + 3,5\sqrt{\frac{66,97}{8}} \right) = (33,83; 54,09).$$

б) по ГОСТ Р 50779.22-2005 с учетом «размаха» выборки

$$W = x_{\max} - x_{\min} = 55,45 - 35,33 = 20,12 \text{ мкм};$$

значения коэффициентов $q_{0,975} = 0,288$ и $q_{0,995} = 0,429$ находят по табл. 7.2;

$$\begin{aligned} J_{0,95} &= [(\bar{x} - q_{0,975}W); (\bar{x} + q_{0,975}W)] = \\ &= [(43,96 - 0,288 * 20,12); (43,96 + 0,288 * 20,12)] = (38,17; 49,75) \\ J_{0,99} &= [(43,96 - 0,429 * 20,12); (43,96 + 0,429 * 20,12)] = [(35,33; 52,59)]; \end{aligned}$$

в) по ГОСТ-Р50779.22-2005 с учетом вычисленных отношений

$$\frac{t_{1-\alpha/2}}{\sqrt{n}}$$
 и уравнению (7.20).

Отношения $\frac{t_{0,975}}{\sqrt{n}}$ по табл.7.2 для $\beta = 0,95$ равно 0,836, а для $\beta = 0,99$,

соответственно 1,237, учитывая при этом, что $n = 8$.

В этом случае, если $\beta = 0,95$, то

$$(43,96 - 0,836 \cdot 8,18) < m < (43,96 + 0,836 \cdot 8,18) \text{ или } 37,12 < m < 50,80,$$

а при $\beta = 0,99$

$$(43,96 - 1,237 \cdot 8,18) < m < (43,96 + 1,237 \cdot 8,18) \text{ или } 33,84 < m < 54,03$$

Отличия последнего варианта (в) от первого (а) можно объяснить только точностью используемых таблиц t-распределения Стьюдента.

Доверительный интервал для дисперсии

Для построения доверительного интервала для дисперсии широко используют известное распределение χ^2 (хи-квадрат) или то же самое – распределение Пирсона.

Если рассмотреть величину

$$V = \chi^2 = \frac{(n-1)\tilde{\sigma}^2}{\sigma^2}, \quad (7.21)$$

то V имеет распределение χ^2 с $(n-1)$ степенями свободы.

Плотность этого распределения выражается формулой:

$$f(V; n) = \begin{cases} \frac{1}{2^{\frac{n-1}{2}} \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} V^{\frac{n-1}{2}-1} e^{-\frac{V}{2}} & \text{при } V > 0 \\ 0 & \text{при } V < 0 \end{cases}. \quad (7.22)$$

Закон распределения $V = \chi^2$ протабулирован в математической лите-

ратуре в функции $\chi^2 = f(k, \alpha)$, и разработаны программы ЭВМ для расчетов с его использованием.

Характерный вид дифференциальной функции представлен на рис.7.4.

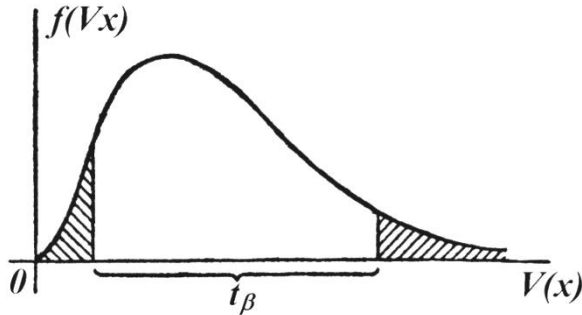


Рис. 7.4. Распределение $V = \chi^2$

Одной из особенностей этого закона является *несимметричность*.

В связи с этим возникает вопрос: как выбрать интервал J_β ? Если бы закон распределения величины V был симметричным (как нормальный закон или распределение Стьюдента), естественно было бы взять интервал J_β симметричным относительно математического ожидания. При несимметричном распределении интервал J_β условились располагать так, чтобы вероятности выхода величины V за пределы интервала вправо и влево (заштрихованные площадки на рис.7.4) были одинаковы и равны $\alpha/2 = (1 - \beta)/2$, где α - уровень риска (или еще говорят, уровень значимости).

Чтобы построить интервал J_β с таким свойством, используют таблицы распределения чисел χ^2 такие, что

$$P(V > \chi^2) = P,$$

для величины V , имеющей χ^2 - распределение с $r = n - 1$ степенями свободы.

После фиксации значения r в строке таблицы находят два значения χ^2 : одно, отвечающее вероятности $P_1 = \alpha/2$; другое – вероятности $P_2 = 1 - \alpha/2$.

Если это значения χ_1^2 и χ_2^2 , то в соответствии с уравнением (7.21), истинное значение $\sigma^2 = D$ оказывается в пределах:

$$J_\beta = \left(\frac{\tilde{D}(n-1)}{\chi_1^2}; \frac{\tilde{D}(n-1)}{\chi_2^2} \right).$$

Если продолжить пример с результатами исследования износа втулки шатуна двигателя СМД, то в случае, когда $\beta = 0,9$, а $\alpha = 1 - \beta = 0,1$ и соответствующие значения $P_{ниж} = \frac{\alpha}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05$, а $P_{верх} = 1 - \alpha_{ниж} = 0,95$, то табличные значения χ^2 будут равны $\chi_{ниж}^2 = 14,1$, а $\chi_{верх}^2 = 2,17$, тогда

$$J_{0,9} = \left(\frac{66,97(8-1)}{14,1}; \frac{66,97(8-1)}{2,17} \right) = (33,25; 216,03).$$

Если $\beta = 0,98$, то $\alpha = 1 - 0,98 = 0,02$, и тогда

$$P_{\text{ниж}} = \alpha / 2 = 0,01, \text{ а } P_{\text{верх}} = 1 - P_{\text{ниж}} = 0,99;$$

Табличные значения χ^2 окажутся равными $\chi_{\text{ниж}}^2 = 18,5$; $\chi_{\text{верх}}^2 = 1,24$; а доверительный интервал

$$J_{0,98} = \left(\frac{66,97(8-1)}{18,5}; \frac{66,97(8-1)}{1,24} \right) = (25,34; 378,06).$$

Здесь уместно обратить внимание на то, что ошибка определения дисперсии при малом числе наблюдений может быть очень велика, т.к. истинное значение может отличаться от расчетного чуть ли не в 5 раз.

Доверительный интервал для среднеквадратического отклонения может быть построен несколькими способами.

Способ 1. Если построен доверительный интервал для дисперсии D , то соответствующий интервал для σ может быть построен аналогично, с учетом того, что $\sigma = \sqrt{D}$

$$J_{\beta} = \left(\frac{\tilde{\sigma}\sqrt{n-1}}{\chi_1}; \frac{\tilde{\sigma}\sqrt{n-1}}{\chi_2} \right).$$

Для предыдущего примера это составит:

$$J_{0,9} = (\sqrt{33.25}; \sqrt{216.03}) = (5.76; 14.70);$$

$$J_{0,98} = (\sqrt{25.34}; \sqrt{378.06}) = (5.03; 19.44).$$

Способ 2. Некоторое упрощение в расчетах можно получить, если доверительный интервал для σ представить в виде:

$$\{\gamma_1 \tilde{\sigma} < \sigma < \gamma_2 \tilde{\sigma}\} = \alpha. \quad (7.23)$$

В этом представлении интервал не отличается от найденного по способу 1 с той лишь особенностью, что отношения $\frac{\sqrt{n-1}}{\chi_1}$ и $\frac{\sqrt{n-1}}{\chi_2}$ заменены на γ_1 и γ_2 , а для их нахождения составлены специальные таблицы [56].

Если построить доверительный интервал для среднеквадратического отклонения по этому способу, то, в случае предыдущего примера

$$(\tilde{\sigma} = \sqrt{66.97} = 8.18; n = 8); \gamma_1 \text{ и } \gamma_2 \text{ (по табл. 7.5)}$$

$$J_{0,9} = 8.18 \cdot 0.7 < 8.18 < 8.18 \cdot 1.8 = (5.73 < 8.18 < 14.72)$$

$$J_{0,98} = 8.18 \cdot 0.62 < 8.18 < 8.18 \cdot 2.4 = (5.07 < 8.18 < 19.63).$$

Вторым способом получены практически те же границы, что и первым. Разница объясняется только различной точностью построения таблиц, используемых для определения χ^2 и γ .

Способ 3. В предыдущих случаях доверительные интервалы построены ассиметрично, относительно оценок $\tilde{\sigma}$ и \tilde{D} . Расположение интервала было выбрано так, чтобы вероятность выхода оценок за нижнюю и верхнюю границы была одинаковой и составляла $\alpha/2$, где α -уровень риска $\alpha = 1 - \beta$.

Таблица 7.5

Доверительный интервал для σ

β	0.99		0.98		0.95		0.9	
n	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2
2	0,36	160	0,39	80	0,45	32	0,51	16
3	0,43	14	0,47	10	0,52	6,3	0,58	4,4
4	0,48	6,5	0,51	5,1	0,57	3,7	0,62	2,9
5	0,52	4,4	0,55	3,7	0,60	2,9	0,65	2,4
6	0,55	3,5	0,58	3,0	0,62	2,5	0,67	2,1
7	0,57	3,0	0,60	2,6	0,64	2,2	0,69	1,9
8	0,59	2,7	0,62	2,4	0,66	2,0	0,7	1,8
9	0,60	2,4	0,63	2,2	0,68	1,9	0,72	1,7
10	0,62	2,3	0,64	2,1	0,69	1,8	0,73	1,6
11	0,63	2,2	0,66	2,0	0,70	1,8	0,74	1,6
12	0,64	2,1	0,67	1,9	0,71	1,7	0,75	1,5
13	0,65	2,0	0,68	1,8	0,72	1,6	0,76	1,5
14	0,66	1,9	0,69	1,8	0,73	1,6	0,76	1,5
15	0,67	1,8	0,69	1,7	0,73	1,6	0,77	1,5
16	0,68	1,8	0,70	1,7	0,74	1,5	0,77	1,4
17	0,68	1,8	0,71	1,7	0,75	1,5	0,78	1,4
18	0,69	1,7	0,71	1,6	0,75	1,5	0,79	1,4
19	0,70	1,7	0,72	1,6	0,76	1,5	0,79	1,4
20	0,70	1,7	0,73	1,6	0,76	1,5	0,79	1,4
25	0,73	1,6	0,75	1,5	0,78	1,4	0,81	1,3
30	0,74	1,5	0,77	1,4	0,80	1,3	0,83	1,3
40	0,77	1,4	0,79	1,3	0,82	1,3	0,85	1,2
50	0,79	1,3	0,81	1,3	0,84	1,2	0,86	1,2
70	0,82	1,3	0,84	1,2	0,86	1,2	0,88	1,2
100	0,85	1,2	0,86	1,2	0,88	1,2	0,90	1,1
200	0,89	1,1	0,90	1,1	0,91	1,1	0,93	1,1

Если доверительный интервал построить симметрично относительно \tilde{D} и $\tilde{\sigma}$, полученных из опыта, то

$$J_{\beta,n} = [\tilde{\sigma}(1 - q_{\beta,n}), \tilde{\sigma}(1 + q_{\beta,n})], \quad (7.24)$$

где $q_{\beta,n}$ находят по таблице 7.6.

Если этот способ применить для предыдущего примера, то $q_{0,99;8}=1.38$, $\sigma = 8.18$, и тогда

$$J_{0,99} = [(1 - 1,38)\tilde{\sigma}; (1 + 1,38)\tilde{\sigma}].$$

Поскольку среднеквадратическое отклонение – величина всегда положительная по определению, то левая граница в данном случае должна быть принята за 0, тогда $J_{0,99} = [0; 19,47]$.

Таблица 7.6

Значение $q_{\beta,n}$, определяемые из условия
 $P[(1 - q_{\beta,n})\tilde{\sigma} < \sigma < (1 + q_{\beta,n})\tilde{\sigma}] = \beta$.

n	β			n	β		
	0,95	0,99	0,999		0,95	0,99	0,999
5	1,37	2,67	5,64	30	0,28	0,43	0,63
6	1,09	2,01	3,88	40	0,24	0,35	0,50
7	0,92	1,62	2,98	50	0,21	0,30	0,43
8	0,80	1,38	2,42	80	0,161	0,226	0,31
9	0,71	1,20	2,06	100	0,143	0,198	0,27
10	0,65	1,08	1,80	150	0,115	0,160	0,211
12	0,55	0,90	1,45	200	0,099	0,136	0,185
15	0,46	0,73	1,15	250	0,089	0,120	0,162
20	0,37	0,58	0,88				

Доверительный интервал для коэффициента вариации

Доверительный интервал коэффициента вариации при нормальном законе распределения строят [48] так:

$$J_{\beta} = \left(\tilde{V} \frac{\sqrt{2(n-1)}}{\sqrt{2(n-1)} + t_{\beta}}; \tilde{V} \frac{\sqrt{2(n-1)}}{\sqrt{2(n-1)} - t_{\beta}} \right), \quad (7.25)$$

где t_{β} – по последней строке табл. XI [48] (стр.345).

Для предыдущего примера

$$V = \frac{\tilde{\sigma}}{\tilde{x}} \cdot 100 = \frac{8,18}{43,96} = 18,16\% ; t_{\beta} = t_{0,99} = 0,995.$$

$$J_{0,99} = \left(18,61 \frac{\sqrt{2(8-1)}}{\sqrt{2(8-1)} + 0,995}; 18,61 \frac{\sqrt{2(8-1)}}{\sqrt{2(8-1)} - 0,995} \right);$$

$$J_{0,99} = (18,61 \cdot 0,79; 18,61 \cdot 1,362) = (14,70; 25,35).$$

7.4. Проверка статистических гипотез. Критерии согласия

После проведения эксперимента в распоряжении исследователя оказывается некоторое множество значений измеренных показателей, и возникает вопрос, какие выводы о свойствах генеральной совокупности можно сделать по этим выборочным наблюдениям.

Первым шагом в решении поставленной задачи может быть вычисление различных статистик и построение доверительных интервалов по методике, рассмотренной ранее.

Вторым обязательным шагом является проверка выдвигаемых статистических гипотез.

Статистическая гипотеза – это любое предположение относительно распределения наблюдаемых случайных величин.

О каких гипотезах чаще всего идет речь?

Поскольку основной характеристикой любой случайной величины является *закон распределения*, то при обработке опытных данных часто ставится вопрос: противоречат или нет опытные данные *гипотезе о виде того или иного закона распределения*?

Определение вида закона распределения очень важно для любого исследования, т.к. позволяет обоснованно оперировать данными, например, определять границы возможного рассеяния, оценивать принадлежность тех или иных экстремальных значений к выборке, моделировать случайные величины на ЭВМ, проводить с ними вычислительный эксперимент и т.д.

Оценка экстремальных значений изучаемых случайных величин часто связана с проверкой выборки на наличие грубых ошибок. Если, например, среди массива опытных данных встречаются резко отличающиеся от остальных значения, то неизбежно возникает вопрос о возможности грубой ошибки (почвообрабатывающая машина наехала на камень, в уборочную машину попал посторонний предмет, а может быть это результат сбоя измерительной аппаратуры или ошибки оператора, неясной или нечеткой записи и т.п.).

При оценке любых испытаний машин или технологий исследователь вынужден определять *существенность отличий числовых характеристик* массивов опытных данных, так как результаты измерений могут отразить как итоги совершенствования, так и явиться результатом удачной выборки.

При обработке опытных данных может быть установлена *корреляционная связь* между случайными величинами, определено влияние тех или иных факторов (*дисперсионный анализ*), построены *регрессионные модели*, найдено значение ряда коэффициентов математических моделей (*метод наименьших квадратов*), произведена оценка *адекватности модели* и т.д.

Основным инструментом решения поставленных задач в математической статистике являются *критерии согласия*, позволяющие определить *вероятность принятия* той или иной гипотезы и *риска, связанного с таким выводом*.

Проверка гипотез о законе распределения. Допустим, что на основе изучения вероятностной модели процесса выдвинута гипотеза о виде закона распределения $F(x)$. Но после проведения эксперимента между теоретическим и фактическим рядами неизбежны расхождения. Естественно желание выяснить чем вызваны эти различия: только ли случайными обстоятельствами, связанными с ограничением числа наблюдений, или обусловлены противоречием опытных данных выдвинутой гипотезе.

Сопоставление теоретических и экспериментальных значений проводят с использованием *критериев согласия* χ^2 (К.Пирсона) и λ (А.Н. Колмогорова).

Критерий К.Пирсона более надежен, хотя применение его связано с необходимостью трудоемких вычислений. Критерий А.Н.Колмогорова применяют в тех случаях, когда теоретический ряд построен без использования опытных данных, т.е. даже числовые характеристики – параметры распределения, – определены теоретически.

Схема использования критерия К.Пирсона состоит в следующем. Результаты опытов, прежде всего, сводят в K разрядов (классов) и оформляют в виде статистического ряда распределения с наблюдаемыми статистическими вероятностями P_i .

Используя теоретический закон распределения, можно найти теоретические значения вероятности попадания случайной величины в каждый из разрядов P_i . В качестве меры расхождения следует выбрать квадрат разности отклонений $(\tilde{P}_i - P_i)^2$, взятых с некоторыми коэффициентами C_i :

$$U = \sum_{i=1}^K C_i (\tilde{P}_i - P_i)^2. \quad (7.26)$$

Коэффициенты C_i вводят потому, что в общем случае отклонения, относящиеся к различным разрядам, нельзя считать равноправными по значимости. Одно и то же по абсолютной величине отклонение может быть малозначимым, если сама вероятность велика, и, наоборот, очень значимым, если вероятность мала. Естественно, C_i следует брать обратно пропорционально вероятностям разрядов. Далее необходимо выбрать коэффициент пропорциональности. К.Пирсон показал, что если выбрать

$$C_i = n / P_i,$$

то при больших n закон распределения величины U практически не зависит от функции распределения $F(x)$ и числа опытов n , а зависит, главным образом, от числа разрядов K и приближается к так называемому распределению χ^2 .

При таком выборе коэффициентов мера расхождения

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^K \frac{(\tilde{P}_i - P_i)^2}{P_i}.$$

Если n ввести под знак суммы и учесть, что $\tilde{P}_i = m_i / n$, (здесь m_i – число значений в i -том разряде), то

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i}. \quad (7.27)$$

Распределение χ^2 зависит от параметра r , называемого *числом степеней свободы* распределения и определяемого как разность между числом разрядов K и числом наложенных связей.

Для каждого значения χ^2 и числа степеней свободы r по таблице закона распределения можно определить вероятность того, что за счет чисто случайных причин мера расхождения будет больше или равна вычисленному значению χ^2 .

Если вероятность P весьма мала (настолько, что событие с такой вероятностью можно считать практически невозможным), то результат опыта можно считать противоречащим гипотезе о том, что закон распределения величины X есть $F(x)$. Если P достаточно велика, то выдвинутую гипотезу считают не противоречащей опытным данным.

В качестве примера приведены результаты сопоставления фактического распределения времени пребывания машин на станции технического

обслуживания с теоретическим (табл. 7.7) [55].

В теории массового обслуживания, как разделе теории вероятностей [38], построена модель, согласно которой время обслуживания подчиняется показательному (экспоненциальному) распределению:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

где λ - плотность потока событий; $\lambda = 1/t_{cp}$, где, в свою очередь, t_{cp} - среднее время обслуживания машины.

Среднее время обслуживания составляет:

$$t_{cp} = \frac{\sum n_i t_i}{\sum n_i} = \frac{2087}{1000} = 2,1 \text{ ч},$$

где t_i - время середины каждого класса.

Плотность потока машин:

$$\lambda = \frac{1}{t_{cp}} = \frac{1}{2,1} = 0,48.$$

Сумма квадратов отклонений составляет:

$$\sum \chi^2 = \sum \frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i} = 1,348.$$

Число степеней свободы равно:

$$r = K - 1 = 10 - 1 = 9.$$

где K - число классов в распределении времени обслуживания.

Критическое значение $\Sigma \chi^2$ (для $P = 0,99$ и $r = 9$, по таблице распределения Пирсона, χ^2):

$$\sum \chi_{крит}^2 = 2,09.$$

Поскольку $\sum \chi^2 < \sum \chi_{крит}^2$, то можно полагать, что фактические данные не противоречат гипотезе о показательном (экспериментальном) распределении времени обслуживания машин.

Вероятность того, что расхождение рядов можно объяснить случайными событиями, составляет $P = 0,99$.

В качестве меры расхождения между теоретическим и фактическим распределением по критерию А.Н. Колмогорова, используют максимальное значение модуля разности между статистической и соответствующей теоретической функциями распределения.

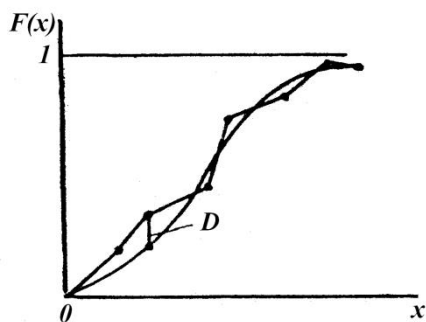


Рис. 7.5. Определение максимального модуля разности между фактическим и теоретическим распределением

Таблица 7.7

Проверка гипотезы о законе распределения времени обслуживания машин

Время обслуживания, $t_i, \text{ч}_o$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		Σ
Наблюдаемая частота, m_i	370	244	147	95	58	35	22	14	8	7	1000
$n_i t_i$	185	366	367.5	332.5	261	192.5	143	105	68	66.5	2087
Накопленная вероятность факт. ряда $\tilde{F}(x)$	0.37	0.614	0.761	0.856	0.914	0.949	0.971	0.985	0.993	1.000	
Теоретическая частота, nP_i	381	236	146	90	56	35	21	13	9	6	993
Разность $\Delta_i = m_i - nP_i$	-11	8	1	5	2	0	1	1	1	1	
$(\Delta_i)^2 = (m_i - nP_i)^2$	121	64	1	25	4	0	1	1	1	1	
$(m_i - nP_i)^2 / nP_i$	0.318	0.271	0.007	0.278	0.071	0	0.048	0.077	0.111	0.167	1.348
Накопленная частота теор. ряда $F(x)$	0.384	0.622	0.768	0.859	0.915	0.951	0.972	0.985	0.991	1	
$ D_\lambda = F(x) - \tilde{F}(x)$	0.014	0.008	0.007	0.003	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.00	

А.Н. Колмогоров доказал, что при любой функции распределения $F(x)$ и достаточно большом числе наблюдений, вероятность неравенства $D_{\max} \sqrt{n} \geq \lambda$ стремится к пределу:

$$P_{\lambda} = 1 - \sum_{k \rightarrow \infty} (-1)^K e^{-2K^2 \lambda^2}. \quad (7.28)$$

При малых значениях вероятности P_{λ} гипотезу следует отвергать, а при достаточно большом – считать опытные данные не противоречащими выдвинутой гипотезе.

Наибольшая разность теоретического $F(x)$ и фактического распределения в предыдущем примере составляет $D_{\max} = 0,014$.

В этом случае $\lambda = D_{\max} \sqrt{n} = 0,442 \approx 0,5$, что соответствует $P_{\lambda} = 0,964$, т.е. и по этому критерию опытные данные не противоречат гипотезе о показательном распределении времени обслуживания машин.

Проверка гипотез о параметрах распределения. Поскольку в качестве основных параметров распределений случайных величин используют значения их математических ожиданий и дисперсий, то, прежде всего, важно сопоставить оценки этих числовых характеристик. Например, иногда результаты одной серии экспериментов значительно отличаются от результатов другой серии. Становится неясным, можно ли объяснить обнаруженное расхождение параметров случайными ошибками опыта или оно вызвано принадлежностью к различным закономерностям?

В некоторых случаях, особенно при испытаниях модернизированных рабочих органов, получают результаты, которые мало отличаются от соответствующих показателей базовых машин. В этом случае следует определить существенность различий оценок параметров исследуемых распределений. Проверку существенности различий оценок математического ожидания проводят с помощью t -критерия.

Для этого, прежде всего, определяют значение критерия:

$$t = \frac{|\tilde{x}_1 - \tilde{x}_2|}{\tilde{\sigma} \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}},$$

$$\text{где } \tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\tilde{\sigma}_1^2 + (n_2 - 1)\tilde{\sigma}_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}, \tilde{x}_1, \tilde{\sigma}_1 \text{ и } \tilde{x}_2, \tilde{\sigma}_2, - \text{ оценки числовых}$$

характеристик соответственно первого и второго распределений; n_1 и n_2 – число измерений.

Затем по таблицам [38] находят критическое значение критерия Стьюдента в зависимости от числа степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$ и принятой доверительной вероятности β . Если $t > t_{\text{кр}}$, то оценки математических ожиданий считают неоднородными, а при $t < t_{\text{кр}}$ разница между оценками не существенна.

Пример 1.

В опытах по фракционированию зерна после обмолота двухбарабанным комбайном проверена всхожесть семян. Результаты, полученные А.А.Майстренко, внесены в таблицу 7.8.

Таблица 7.8

Всхожесть семян, выделенных после первого и второго
молотильного барабанов

Фракция 1	99,2	98,8	98,2	97,8	97,5	97,0	$\Sigma=588,5$	$\tilde{x}_1=98$
Фракция 2	94,3	94,2	94,0	93,8	93,8	93,6	$\Sigma=563,7$	$\tilde{x}_2=94$
Отклонения Δ_1 от сред- него x_1	1,2	0,8	0,2	-0,2	-0,5	-1		
Δ_1^2	1,44	0,64	0,04	0,04	0,25	1	$\Sigma\Delta_1^2=3,41$	$\sigma_1=0,83$
Отклонения Δ_2 от сред- него x_2	0,3	0,2	0	-0,2	-0,2	-0,4		
Δ_2^2	0,09	0,04	0	0,04	0,04	0,16	$\Sigma\Delta_2^2=0,37$	$\sigma_2=0,27$

Усредненное значение среднеквадратического отклонения:

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\tilde{\sigma}_1^2 + (n_2 - 1)\tilde{\sigma}_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} = \sqrt{\frac{5 * 0,83^2 + 5 * 0,27^2}{6 + 6 - 2}} = \sqrt{\frac{3,44 + 0,37}{10}} = 0,62.$$

Критерий Стьюдента окажется равным:

$$t = \frac{|\tilde{x}_1 - \tilde{x}_2|}{\tilde{\sigma}\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}} = \frac{98 - 94}{0,62\sqrt{1/6 + 1/6}} = 11,18.$$

Критическое значение $t_{кр} = 6,86$ при доверительной вероятности $\beta=0,999$ и числе степеней свободы $k = n - 1 = 6 - 1 = 5$.

Поскольку $t > t_{кр}$, то отличие во всхожести фракций семян следует считать существенным.

Пример 2.

Изучается величина потерь зерна за двумя вариантами молотильно-сепарирующих устройств конструкции ГСКБ Ростсельмаш.

Величина потерь представлена в таблице 7.9.

Таблица 7.9

Потери зерна за молотильно-сепарирующими устройствами

Комбайн №1	1,22	1,23	1,36	1,25	$x_1 = \sum x_i / n = 1,27$
Отклонения от \bar{x}_1, Δ_i	-0,05	-0,24	0,09	-0,02	
Δ_i^2	0,0025	0,0016	0,0081	0,0004	$\tilde{D}_1 = \frac{\sum \Delta_i^2}{n - 1} = 0,0042$
Комбайн №2	1,44	1,36	1,54	1,56	$x_2 = \sum x_{2i} / n = 1,48$
Отклонения от \bar{x}_2, Δ_{2i}	-0,04	-0,12	0,06	0,08	
Δ_{2i}^2	0,0016	0,0144	0,0036	0,0064	$\tilde{D}_{2i} = \frac{\sum \Delta_{2i}^2}{n - 1} = 0,0087$

Усредненное значение среднеквадратического отклонения:

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(n-1)D_1 + (n-1)D_2}{n_1 + n_2 - 2}} = \sqrt{\frac{(4-1) \cdot 0,0042 + (4-1) \cdot 0,0087}{4 + 4 - 2}} = 0,08.$$

Критерий Стьюдента окажется равным:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\tilde{\sigma} \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{4}}} = \frac{|1,27 - 1,48|}{0,08 \sqrt{0,5}} = 3,68.$$

Критическое значение $t_{кр} = 3,18$ (при доверительной вероятности $\beta=0,95$ и числе степеней свободы $(n-1)=3$ [38]).

Таким образом $t > t_{кр}$, т.е. различие в величине потерь зерна за молотильно-сепарирующей частью исследуемых комбайнов существенно.

Пример 3.

Изучается расход топлива автомобиля Chevrolet Lacetti с рабочим объемом двигателя 1,4 л, в сравнении с ВАЗ-21043, имеющим объем двигателя 1,45 л.

Результаты измерений занесены в таблицу 7.10.

Таблица 7.10

Расход топлива двигателей автомобилей на 100 км пробега

Chevrolet Lacetti	x_1	8,3	8,2	9,2	9,3	9,1	7,9	8,2	8,5	8,0	9,2	Σ	$x_1=8,6$
	Δx_1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,5	0,7	0,4	0,1	0,6	0,6		
	Δx_1^2	0,09	0,16	0,36	0,49	0,25	0,49	0,16	0,01	0,36	0,36	$\Sigma=2,73$	$D_1=0,3$
ВАЗ-21043	x_2	8,9	9,4	8,5	9,3	8,3	9,5	8,5	8,1	8,9	8,4	$\Sigma=87,8$	$x_2=8,8$
	Δx_2	0,1	0,6	0,3	0,5	0,5	0,7	0,3	0,7	0,1	0,4		
	Δx_2^2	0,01	0,36	0,09	0,25	0,25	0,49	0,09	0,49	0,01	0,16	$\Sigma=2,2$	$D_2=0,24$

Усредненное значение среднеквадратического отклонения:

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(n_1-1)\tilde{D}_1 + (n_2-1)\tilde{D}_2}{n_1 + n_2 - 2}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 0,3 + 9 \cdot 0,24}{10 + 10 - 2}} = 0,52.$$

Критерий Стьюдента оказывается равным:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\tilde{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{|8,6 - 8,8|}{0,52 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}} = 0,86.$$

Критическое значение $t_{крит} = 2,26$ при $\beta=0,95$ и $k=n-1=10-1=9$.

Поскольку $t < t_{крит}$, то отличие в расходах топлива этих автомобилей не существенно.

Существенность различий двух сравниваемых дисперсий проверяют с помощью критерия Фишера (F-критерия):

$$F = \tilde{\sigma}_x^2 / \tilde{\sigma}_y^2,$$

где $\tilde{\sigma}_x^2$ и $\tilde{\sigma}_y^2$ - соответственно, большее и меньшее значения сравниваемых дисперсий.

Далее по таблицам [38, 48, 56] находят критическое значение крите-

рия Фишера, соответствующее выбранному уровню риска α и числам степеней свободы $k_1 = n_1 - 1$ и $k_2 = n_2 - 1$. Если $F < F_{кр}$, то различие дисперсий считают несущественным.

Пример. В опытах В.С. Кирова (Пермская ГСХА) исследовано влияние постановки двухступенчатого ротора на разбрасывателе удобрений из куч РУН-Ф-15ВМ.

В результате полевых опытов получены следующие результаты.

На серийном разбрасывателе с одноступенчатыми роторами:

среднее количество удобрений на 1 м^2 - $\bar{x}_1 = 3 \text{ кг/м}^2$; дисперсия $D_1 = 2,25$; на экспериментальном разбрасывателе с двухступенчатым ротором $\bar{x}_2 = 2,9 \text{ кг/м}^2$, $D_2 = 1,96$.

Число измерений в каждом варианте $n_1 = n_2 = 200$.

Величина F -критерия оказывается равной:

$$F = \frac{D_1}{D_2} = \frac{2,25}{1,96} = 1,15.$$

Критическое значение критерия для 1%-го уровня риска составляет $F_{кр} = 1,39$.

Поскольку $F < F_{кр}$, то постановка ступенчатого ротора в данной серии опытов существенного влияния на равномерность распределения органических удобрений не оказала.

Если необходимо проверить гипотезы об однородности некоторого ряда дисперсий (например, при нескольких последовательных выборках), используют критерий Кохрена (если число измерений одинаково) или Бартлетта (если числа элементов в выборках различные).

Критерий Кохрена вычисляют по формуле:

$$G = \frac{\tilde{\sigma}_{\max}^2}{\tilde{\sigma}_1^2 + \tilde{\sigma}_2^2 + \dots + \tilde{\sigma}_m^2},$$

где $\tilde{\sigma}_{\max}^2$ - максимальное значение сравниваемых дисперсий.

Критическое значение этого критерия находят по таблицам [48] с учетом принятого уровня риска, числа степеней свободы $n - 1$ и сравниваемых дисперсий.

Если $G > G_{кр}$, то различие дисперсий существенно, а при $G < G_{кр}$ ряд сравниваемых дисперсий считают однородным.

Проверка гипотез о принадлежности к выборке. Если при обработке опытных данных возникает сомнение в некоторых числах (например, они резко отличаются от остальных измерений), то их проверяют на несоответствие («на промах») с помощью критериев Грэбса-Смирнова (V -критерий) и Ирвина.

Схема использования V -критерия состоит в следующем. По результатам измерений, в том числе и по считающимся ошибочным, определяют \tilde{x} и $\tilde{\sigma}$.

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \tilde{x})^2}{n}}.$$

Затем, в зависимости от того, какое из экстремальных значений (x_{\max} или x_{\min}) проверяют «на промах», вычисляют критерий:

$$V = (x_{\max} - \tilde{x}) / \tilde{\sigma} \quad (7.29)$$

или

$$V = (\tilde{x} - x_{\min}) / \tilde{\sigma}. \quad (7.30)$$

После этого по таблице V -критерия [48], в зависимости от принятого уровня риска α и числа измерений n , находят значение V_{\max} , при котором результат измерения x_{\max} и x_{\min} можно считать следствием статистического разброса величины x_i .

Когда $V < V_{\max}$, подозреваемое измерение нужно сохранить, а при $V > V_{\max}$ его можно исключить из анализа как ошибочное.

Пример.

Произведено испытание образцов металлокерамики, пропитанной медью, предназначенных для изготовления антифрикционных накладок.

Результаты измерений представлены в таблице 7.11.

Таблица 7.11

Результаты испытаний образцов, пропитанных медью

Номер образца	Твердость по Роквеллу при $d=2,5\text{мм}; P=600\text{Н}$	σ_b , МПа	δ , %
1	107...109	435	16.5
2	106...109	460	17.0
3	102...107	440	15.0
4	108...109	417	14.8
5	108...109	436	16.0
6	105...110	460	18.4
7	107...110	435	16.5
8	102...105	445	15.5

Проверить, не являются ли измерения 6-го образца по относительно-му удлинению грубой ошибкой:

$$\tilde{x}_{cp} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{16,5 + 17,0 + 15,0 + 14,8 + 16,0 + 18,4 + 16,5 + 15,5}{8} = 16,2\%$$

$$\tilde{D}_2 = \frac{(16,5 - 16,2)^2 + (17,0 - 16,2)^2 + (15,0 - 16,2)^2 + (14,8 - 16,2)^2 + (16,0 - 16,2)^2 + (18,4 - 16,2)^2 + (16,5 - 16,2)^2 + (15,5 - 16,2)^2}{8} = 1,2.$$

Среднее квадратическое отклонение будет равно $\sigma = 1,09$, V -критерий окажется равным:

$$V = \frac{x_{\max} - \tilde{x}_{cp}}{\tilde{\sigma}} = \frac{18,4 - 16,2}{1,09} = \frac{2,2}{1,09} = 2,02.$$

Критическое значение критерия при $n = 8$ и $\alpha = 0,01$, равно

$$V_{кр} \cong 2,4.$$

Поскольку $V < V_{кр}$, то результаты измерений 6-го образца не являются грубой ошибкой, их нужно сохранить в расчетах.

Если используют критерий Ирвина, все результаты измерения выстраивают в ранжированный ряд (обычно в порядке уменьшения). Затем считающийся ошибочным (подозреваемый «на промах») результат сравнивают с соседним значением ряда, вычисляя при этом критерий Ирвина:

$$\lambda = (x_{\max} - x_{\text{пред. max}}) / \tilde{\sigma}.$$

После этого по таблице критерия Ирвина [48] находят критическое значение критерия в зависимости от числа измерений и принятой доверительной вероятности β . Если $\lambda > \lambda_{кр}$, то подозреваемый результат отбрасывают, а при $\lambda < \lambda_{кр}$ – сохраняют.

Пример.

При определении времени безотказной работы машины выявлено, что после ранжирования ряд оказался следующим (час):

$$x \approx 85; 70; 62; 60; 58; 55; 52; 50; 47; 45.$$

Среднее значение времени безотказной работы составит:

$$x_{cp} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{584}{10} = 58.4 \text{ ч.}, \text{ пусть } x_{cp} = 58 \text{ час.}$$

Дисперсия этого ряда равна $D = 141,3 \text{ ч}^2$, а среднеквадратическое отклонение $\sigma = 11,84 \text{ ч}$.

Значение критерия Ирвина окажется равным:

$$\lambda = \frac{x_{\max} - x_{\text{пред. max}}}{\tilde{\sigma}} = \frac{85 - 70}{11.88} = 1.26.$$

Критическое значение критерия при $n = 10$ и доверительной вероятности $\beta = 0,99$ равно $\lambda_{кр} = 2$. Таким образом, $\lambda < \lambda_{кр}$ и подозреваемое на грубую ошибку значение $x_{\max} = 85 \text{ ч}$ нужно сохранить.

7.5. Оценки систем случайных величин

В практике работы со случайными величинами достаточно часто приходится сталкиваться с задачами, в которых результат опыта зависит не от одной, а от двух или более случайных величин, образующих комплекс или систему.

Например, при оценке равномерности распределения семян и удобрений по площади питания приходится учитывать и абсциссу, и ординату расположения частиц как систему случайных величин.

Свойства системы нескольких случайных величин не исчерпываются характеристиками отдельных величин, ее составляющих: помимо этого, они включают также взаимные связи (зависимости) между случайными величинами.

Вероятностная или «стохастическая» зависимость означает, что изменение одной величины из системы более или менее влияет на вероят-

ностные характеристики другой.

Ранее уже было отмечено, что отдельно взятая случайная величина может быть охарактеризована начальными

$$m_s[X] = M[X^s]$$

или центральными моментами

$$\mu_s[X] = M[\overset{\circ}{X}^s] = M[(x - m_x)^s],$$

где m_x – математическое ожидание случайной величины X .

Из этих характеристик важнейшими являются математическое ожидание m_x и дисперсия D_x :

$$\mu_s[X] = D_x = M[\overset{\circ}{X}^2].$$

Система случайных величин характеризуется [56] *начальным моментом* порядка K, S :

$$m_{K,S} = M[x^K y^S] \quad (7.31)$$

и центральным

$$\mu_{K,S} = M[\overset{\circ}{x}^K \overset{\circ}{y}^S], \quad (7.32)$$

где $\overset{\circ}{x} = X - m_x$; $\overset{\circ}{y} = Y - m_y$.

Особую роль как характеристика системы играет второй смешанный центральный момент:

$$\mu_{1,1} = M[\overset{\circ}{X} \overset{\circ}{Y}], \quad (7.33)$$

т.е. математическое ожидание произведения центрированных величин.

Ввиду того, что этот момент играет важную роль в теории систем случайных величин, для него введено особое обозначение:

$$K_{x,y} = M[\overset{\circ}{X} \overset{\circ}{Y}] = M[(X - m_x)(Y - m_y)] \quad (7.34)$$

Характеристика $K_{x,y}$ называется *корреляционным моментом* (иначе «моментом связи») случайных величин x, y .

Корреляционный момент зависит не только от зависимости x и y , но и от их рассеивания (т.е. отклонений от математического ожидания).

Характеристикой связи в чистом виде может быть безразмерная величина – *коэффициент корреляции*:

$$r_{x,y} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (7.35)$$

где σ_x, σ_y – средние квадратические отклонения величин x и y .

Корреляция может быть положительной (когда с ростом x увеличивается y) и отрицательной (когда с ростом x , y – уменьшается). Коэффициент корреляции характеризует линейную зависимость x и y .

Статистическая оценка коэффициента корреляции

При вычислении коэффициента корреляции r опытные данные обычно сводят в таблицу со значениями x и y .

При использовании данных таблицы коэффициент корреляции вычисляют в следующем порядке.

1. Определяют средние арифметические значения X и Y :

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n x_j; \quad \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m y_i.$$

2. Вычисляют выборочный корреляционный момент:

$$K_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (x_j - \bar{X})(y_i - \bar{Y}).$$

3. Определяют скорректированные дисперсии и средние квадратические отклонения величин X и Y :

$$D_x = \sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{X})^2; \quad \sigma_x = \sqrt{D_x}.$$

$$D_y = \sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{Y})^2; \quad \sigma_y = \sqrt{D_y}.$$

4. Вычисляют оценку коэффициента корреляции; $\bar{r} = K_{xy} / \sigma_x \sigma_y$.

Пример: Используя данные испытаний отечественных и зарубежных комбайнов на МИС АПК, в ГОСНИТИ проанализирована зависимость их производительности (т/ч) от мощности двигателя N , кВт.

Среди 9 исследованных комбайнов «Нива-эффект», «Вектор», «Вектор-410», «Акрос-530», «Енисей КЗС-950», КЗС-1218 (Брянксельмаш) и 3 комбайна фирм «John Deer» и Claas (LEXION-580 и Tucano-540).

Результаты испытаний внесены в таблицу 7.12.

Таблица 7.12

Зависимость производительности зерноуборочных комбайнов (y_i) от мощности двигателя (x_i)

№ п/п	x_i	y_i	Δx_i	Δx_i^2	Δy_i	Δy_i^2	$\Delta x_i \Delta y_i$
1	114	6,9	-103	10609	-7,5	56,25	772,5
2	132	9,0	-85	7272	-5,4	29,16	459
3	136	10,1	-81	6561	-4,3	18,49	348,3
4	154	10,6	-63	3969	-3,8	14,44	239,4
5	188	14,9	-29	841	0,5	0,25	-14,5
6	243	17	26	676	2,6	6,76	67,6
7	250	18,6	33	1089	4,2	17,64	138,6
8	350	20,8	133	17689	6,4	40,96	851,2
9	390	21,3	173	29929	6,9	47,61	1193,7
Σ	1957	129,2		78588		231,56	4055,8

Вычисленные характеристики:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1957}{9} = 217, \text{ кВт};$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{129,2}{9} = 14,4, \text{ т/ч};$$

$$\tilde{D}_x = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{78588}{9-1} = 9823,6; \quad \tilde{\sigma}_x = \sqrt{\tilde{D}_x} = \sqrt{9823,6} = 99,1, \text{ кВт/ч};$$

$$\tilde{D}_y = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1} = \frac{231,56}{8} = 29; \quad \tilde{\sigma}_y = \sqrt{\tilde{D}_y} = \sqrt{29} = 5,4, \text{ т/ч}.$$

Корреляционный момент K_{xy} окажется равным

$$K_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum \Delta x_i \Delta y_i = \frac{4055,8}{9-1} = 506,975;$$

$$\text{тогда } \bar{r}_{xy} = \frac{K_{xy}}{\tilde{\sigma}_x \tilde{\sigma}_y} = \frac{506,975}{99,1 \cdot 5,4} = 0,94.$$

Значимость выборочного коэффициента корреляции r проверяют с помощью нулевой гипотезы $r = 0$, т.е. с помощью гипотезы о том, что изучаемые признаки X и Y генеральной совокупности не связаны между собой линейной зависимостью. Отбрасывание нулевой гипотезы будет свидетельствовать о том, что полученный коэффициент корреляции r достоверен.

Нулевую гипотезу H_0 можно проверить с помощью критерия Стьюдента со степенями свободы $k = N - 2$

$$t = \frac{\tilde{r} \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-\tilde{r}^2}}.$$

При $|t| \geq t_{2|2}$ гипотезу H_0 отвергают.

$$\text{В рассмотренном примере } t = \frac{0,94\sqrt{7}}{\sqrt{1-0,94^2}} = 7,29.$$

Критическое значение критерия t при $\alpha = 0,05$ и $k = 7$ будет $t = 2,36$. Поскольку $7,29 > 2,36$, то вычисленное значение r достоверно.

Коэффициент корреляции указывает на направление и степень сопряженности в изменении признаков, но не позволяет судить о том, как количественно меняется результативный признак при изменении факториального на единицу измерения, что нередко важно в познавательных и практических целях. В подобных случаях на помощь приходит *регрессионный анализ*.

Под регрессией понимают изменение результативного признака, называемого *зависимой переменной*, или функцией Y , при определенных изменениях факториального признака, называемого *независимой переменной*, или аргументом X .

По форме регрессия может быть *прямолинейной* и *криволинейной*. Прямолинейная регрессия – это такая зависимость, когда при любом значе-

нии аргумента одинаковые приращения его вызывают одинаковые приращения функции, криволинейная – когда при одинаковых приращениях аргумента функция имеет неодинаковые приращения.

Регрессия называется простой, если изменение функции исследуется от одного аргумента [$y = f(x)$], и множественной – от двух и более аргументов [$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$].

Зависимость функции от аргумента при линейной регрессии может быть выражена коэффициентом регрессии. Коэффициентом линейной регрессии называется число, показывающее, в каком направлении и на какую величину изменяется один признак (функция) при изменении другого (аргумента) на единицу измерения.

Обычно обозначают коэффициент регрессии буквой b и вычисляют по формулам:

$$b_{yx} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad \text{и} \quad b_{xy} = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y}. \quad (7.36)$$

Коэффициент регрессии b_{yx} показывает, как меняется Y при изменении X на единицу измерения и выражается в единицах Y ; а b_{xy} указывает регрессию X на Y и выражается в единицах X (что, впрочем, не всегда имеет логический смысл, например, урожай может зависеть от количества осадков, а осадки от урожая, как известно, не зависят).

Коэффициенты линейной регрессии имеют знак коэффициента корреляции.

Произведение коэффициентов регрессии равно квадрату коэффициента корреляции:

$$b_{yx} \cdot b_{xy} = r^2.$$

Этой формулой можно пользоваться как проверочной при вычислении коэффициентов регрессии.

Среднеквадратическую ошибку коэффициентов регрессии вычисляют по формулам:

$$\sigma_{b_{xy}} = \sigma_r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad \sigma_{b_{yx}} = \sigma_r \frac{\sigma_x}{\sigma_y}, \quad \sigma_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}, \quad (7.37)$$

где σ_r – среднеквадратическая ошибка коэффициента корреляции;

r – коэффициент корреляции.

Уравнение регрессии можно представить в виде:

$$y = \tilde{y} + \tilde{r}_{xy} \cdot \frac{\tilde{\sigma}_y}{\tilde{\sigma}_x} (x - \tilde{x}),$$

$$\begin{aligned} y &= 14,4 + 0,94 \frac{5,4}{99,1} (x - 217) = 14,4 + 0,05(x - 217) = 14,4 + 0,05x - 10,85 = \\ &= 3,55 + 0,05x. \end{aligned}$$

Уравнение регрессии позволяет определить производительность комбайна с тем или иным двигателем.

Например, если $x = 200$, то $y = 3,55 + 10 = 13,55$ т/ч.

Очень часто причиной изменчивости тех или иных элементов техно-

логических процессов является воздействие на них некоторых множественных факторов. В этом случае при испытаниях могут возникнуть дополнительные вопросы, такие как оценка влияния того или иного фактора на общий результат, соотношении факторов, обеспечивающих оптимальность процесса и т.д.

Одним из наиболее совершенных современных методов обработки результатов испытаний, позволяющих оценить вклад фактора в исследуемый процесс, является дисперсионный анализ, который был разработан и введен в практику английским ученым Р.А. Фишером.

При дисперсионном анализе устанавливают долю суммарной дисперсии, которую вносит каждый из факторов и проверяют гипотезу о существенности влияния каждого из них на конечный результат.

Общая дисперсия, характеризующая изменчивость некоторой изучаемой величины, определяется влиянием как вполне определенных, логически значимых факторов, так и большого количества незначимых, с нашей точки зрения, или неизвестных факторов.

Основная идея дисперсионного анализа (analysis of variance – ANOVA) состоит в сравнении *факторной дисперсии*, порождаемой воздействием фактора и *остаточной дисперсии*, обусловленной случайными не учитываемыми и неизвестными причинами [56].

Если различие между этими значимо, то фактор оказывает существенное влияние на изучаемую величину, а если нет, то влияние фактора можно считать побочным, остаточным, так называемым «шумовым воздействием».

Для вычисления оценки дисперсии, прежде всего, должна быть вычислена сумма квадратов отклонений отдельных измерений от среднего значения \bar{x} :

$$Q = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (7.38)$$

так как

$$D = \frac{Q}{n-1},$$

где $n - 1$ – число степеней свободы.

В теории вероятностей доказывается, что при совместном влиянии системы независимых случайных величин общая сумма квадратов отклонений образуется в виде суммы квадратов отклонений отдельных составляющих.

Если, например, обрабатывается опыт, зависящий от факторов A и B , то общая сумма квадратов может быть представлена как

$$Q = Q_A + Q_B + Q_R, \quad (7.39)$$

где Q_R – остаточная сумма квадратов отклонений.

В случае, когда фактор A имеет p уровней, а B – q уровней, то общее число измерений составит $n = pq$. Число степеней свободы для каждой суммы квадратов Q_A , Q_B и Q_R составит, соответственно, $p-1$, $q-1$ и $(p-1)(q-1)$,

так как $n-1=(p-1)+(q-1)=(p-1)(q-1)+pp-p-q+1=pq-1$. Но уже было отмечено, что $pq = n$.

После вычисления Q_A , Q_B и Q_R их делят на соответствующие им степени свободы и получают, тем самым, значения дисперсий D_A , D_B и D_R :

$$D_A = \frac{Q_A}{p-1}; \quad D_B = \frac{Q_B}{q-1}; \quad D_R = \frac{Q_R}{(p-1)(q-1)}. \quad (7.40)$$

Эти значения дисперсий и используют для оценки значимости действия изучаемых факторов.

Для этого вычисляют значения критерия Фишера, например,

$$F_A = \frac{D_A}{D_R}. \quad (7.41)$$

Затем находят табличное, критическое значение $F_{табл.}$ по принятому уровню значимости (скорее всего 5% или даже 10%). Если $F_A < F_{табл.}$, то нулевая гипотеза отвергается, т.е. влияние данного фактора можно считать существенным.

В качестве примера может быть исследование износа шин автомобиля.

Четыре марки шин (А, Б, В, Г) установлены на четырех автомобилях.

Поскольку износ зависит от состояния автомобиля и особенностей водителя, то при испытаниях было решено использовать план латинского квадрата с тем, чтобы каждая шина побывала на каждом автомобиле одинаковое число раз (в данном случае по одному).

Для ответа на вопрос, удалось ли за счет этого исключить влияние фактора «автомобиль» на характеристику износа шин может быть проведен дисперсионный анализ, определяющий значимость всех факторов.

После пробега 40 тыс. км износ шин замерен, и результаты занесены в таблицу 7.13.

Общее число измерений $n = p \cdot q = 4 \cdot 4 = 16$,

где p – число уровней факторов *марки шин*;

q – число уровней фактора *автомобиль*.

Таблица. 7.13

Результаты испытаний шин

Марка шин	Номера автомобилей				Σ по строке	X_i
	I	II	III	IV		
А	17	14	13	13	57	14,25
Б	14	14	13	8	49	12,25
В	12	12	10	9	43	10,75
Г	13	11	11	9	44	11,00
Σ	56	51	47	39		
Среднее по столбцам	14	12,75	11,75	9,75		

Общее среднее износа шин:

$$\tilde{x} = \frac{\sum_{i=1}^P \sum_{j=i}^q x_{ij}}{n} = \frac{193}{16} \cong 12 \text{ мм.}$$

Сумма квадратов отклонений всех наблюдаемых значений от их общего среднего значения равна:

$$\begin{aligned} Q = \sum_{g=1}^P \sum_{h=i}^q (x_{gh} - \bar{x})^2 &= (17-12)^2 + (14-12)^2 + (12-12)^2 + (13-12)^2 + \\ &+ (14-12)^2 + (14-12)^2 + (12-12)^2 + (11-12)^2 + (13-12)^2 + \\ &+ (13-12)^2 + (10-12)^2 + (11-12)^2 + (13-12)^2 + (8-12)^2 + \\ &+ (9-12)^2 + (9-12)^2 = 25 + 4 + 0 + 1 + 4 + 4 + 0 + 1 + 1 + 1 + \\ &+ 4 + 1 + 1 + 16 + 9 + 9 = 81. \end{aligned}$$

Сумма квадратов отклонений средних значений по группам (А-шина):

$$\begin{aligned} Q_{ш} &= \sum q \sum_{g=1}^4 (\bar{x}_g - \bar{x})^2 = 4[(14,25-12)^2 + (12,25-12)^2 + (10,75-12)^2 + (11-12)^2] = \\ &= 4(5,06 + 0,06 + 1,56 + 1) = 7,63 * 4 = 30,52. \end{aligned}$$

Сумма квадратов отклонений средних значений по группам (В-автомобилей):

$$\begin{aligned} Q_{авт} &= 2P \sum_{h=1}^4 (\bar{x}_h - \bar{x})^2 = 4[(14-12)^2 + (12,75-12)^2 + (11,75-12)^2 + (9,75-12)^2] = \\ &= 4(4 + 0,56 + 0,06 + 5,06) = 4 * 9,68 = 38,72. \end{aligned}$$

Остаточная сумма квадратов:

$$Q_R = Q - Q_{ш} - Q_{авт} = 81 - 30,52 - 38,72 = 11,76.$$

Числа степеней свободы:

$$K = n - 1 = 16 - 1 = 15 \text{ (для суммы } Q);$$

$$K_{ш} = q - 1 = 4 - 1 = 3 \text{ (для суммы } Q_{ш});$$

$$K_{авт} = P - 1 = 4 - 1 = 3 \text{ (для суммы } Q_{авт}).$$

Остаточная сумма $K_R = (P - 1)(q - 1) = 3 \cdot 3 = 9$ (для остаточной суммы Q_R).

Несмещенные оценки дисперсий:

$$D = \frac{Q}{n-1} = \frac{81}{15} = 5,4$$

$$D_{шин} = \frac{Q_{ш}}{q-1} = \frac{30,52}{3} = 10,17$$

$$D_{авт} = \frac{Q_{авт}}{P-1} = \frac{38,72}{4-1} = 12,9$$

$$D_R = \frac{Q_R}{(q-1)(P-1)} = \frac{11,76}{9} = 1,31.$$

Значения F -критериев для соответствующих значений дисперсий окажутся равными:

$$F_{ш} = \frac{D_{ш}}{D_R} = \frac{12,24}{0,62} = 19,74,$$

с табличным для 5%-ого уровня риска, числа степеней свободы $K_{ш}=3$ и $K_R=9$, значение $F_{кр}=3,86$, а при 1% уровне риска $F_{кр}=6,99$.

Поскольку $F_{ш} > F_{кр}$, то фактор влияния марок шин на износ следует признать существенным.

Значение F -критерия для определения значимости влияния «автомобилей» будет равен:

$$F_{авт} = \frac{D_{авт}}{D_R} = \frac{12,9}{0,62} = 20,81,$$

при критическом значении $F_{кр}=3,86$ для уровня риска 5% и 6,99 – для уровня риска 1%.

Таким образом, $F_{авт} > F_{кр}$, значит влияние автомобилей на износ шин существенно.

Кстати заметить, что существенность влияния автомобилей на износ шин для испытателя указывает лишь на несовершенство планирования опыта. В плане эксперимента некоторые меры снижения такой зависимости предусмотрены.

Каждая шина испытана на каждом автомобиле одинаковое число раз. Влияние автомобиля может проявиться в том, что эта шина может оказаться на передних или задних, правых или левых колесах. Для снижения зависимости износа от фактора – (автомобили) можно ввести требование периодической перестановки колес.

7.6. Метод наименьших квадратов

К вопросам, связанным с обработкой опытов и оценками точности полученных результатов, очень близко примыкает вопрос о сглаживании экспериментальных зависимостей, выбора аппроксимирующих зависимостей, определении коэффициентов функционально связанных величин, если они определяются на основе эксперимента.

Пусть имеются результаты n независимых опытов, оформленные в виде простой статистической таблицы или нанесены на график. Из теоретических или иных соображений выбран принципиальный вид зависимости $y = f(x)$. Данная функция обычно содержит ряд числовых параметров, например a , b , c . Требуется так выбрать эти параметры, чтобы кривая $y = f(x)$ наилучшим образом изображала зависимость, полученную в опыте.

В теории вероятностей [38] доказывается, что наиболее вероятными значениями коэффициентов окажутся те из них, которые приведут к минимальной величине сумму квадратов отклонений экспериментальных значений от расчетных.

Отсюда и название – *метод наименьших квадратов*.

Если функцию y записать зависящей не только от аргумента x , но и от коэффициентов a , b , c , то получится:

$$y = f(x, a, b, c, \dots).$$

Если величину y заменить на приближенно найденное из опыта значение и вычесть из этой величины правую (расчетную) часть, то в результате получится некоторая ошибка (невязка) δ_i .

После возведения этих разностей в квадрат и суммирование по всем опытам, можно получить:

$$\sum [y_i - f(x_i, a, b, c)]^2 = \sum \delta_i^2. \quad (7.42)$$

Чтобы найти значения a , b , и c , при которых правая часть минимизируется, необходимо взять частные производные по a , b , c , приравнять их к нулю, составить систему уравнений и решить ее:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sum \delta_i^2}{\partial a} &= 0 \\ \frac{\partial \sum \delta_i^2}{\partial b} &= 0 \\ \frac{\partial \sum \delta_i^2}{\partial c} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (7.43)$$

В качестве примера можно рассмотреть задачу определения коэффициентов рациональной формулы В.П. Горячкина.

Силу, необходимую для перемещения плуга, В.П. Горячкин представил как

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

где P_1 – сила, необходимая для «перетаскивания» плуга;

P_2 – сила, необходимая для крошения пласта;

P_3 – сила, необходимая для отбрасывания пласта в сторону вспаханного поля.

После значительной идеализации процесса и использования закономерностей физики, сопротивления материалов и динамики найдено:

$$P_1 = fG; P_2 = k \cdot a \cdot b; P_3 = \varepsilon \cdot ab \cdot V^2,$$

где f – коэффициент «перетаскивания» плуга;

k – коэффициент крошения пласта;

ε – скоростной коэффициент;

G – вес плуга;

a – глубина вспашки;

b – ширина захвата плуга;

V – скорость движения агрегата.

В полном виде силу, необходимую для перемещения плуга во время пахоты, можно представить как:

$$P = fG + k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot ab \cdot V^2.$$

Во время эксперимента параметры P , G , a , b и V могут быть зафиксированы.

Определению подлежат коэффициенты f , k и ε .

Составляющую P_1 В.П. Горячкин предложил определить предварительно путем протаскивания плуга по открытой борозде, так что коэффициент f может быть найден как $f = \frac{P_1}{G}$.

Если все экспериментально найденные величины перенести в левую часть уравнения, то получится:

$$\frac{P_i - P_1}{a_i b_i} = k + \varepsilon V_i.$$

Разность между левой (экспериментальной) и правой (расчетной) частью уравнения составит δ :

$$\frac{P_i - P_1}{a_i b_i} - k - \varepsilon V_i^2 = \delta_i.$$

После возведения в квадрат и суммирования по n опытам получится:

$$\sum_{i=1}^n \left[\frac{P_i - P_1}{a_i b_i} - k - \varepsilon V_i^2 \right]^2 = \sum_{i=1}^n \delta_i^2.$$

Частные производные окажутся равными:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Sigma \delta_i^2}{\partial k} &= 2 \sum \left(\frac{P_i - P_1}{a_i b_i} - k - \varepsilon V_i^2 \right) (-1) = 0 \\ \frac{\partial \Sigma \delta_i^2}{\partial \varepsilon} &= 2 \sum \left(\frac{P_i - P_1}{a_i b_i} - k - \varepsilon V_i^2 \right) (-V_i^2) = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (7.44)$$

После некоторых простых преобразований систему можно привести к виду:

$$\left. \begin{aligned} nk + m\varepsilon - q &= 0 \\ mk + l\varepsilon - r &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (7.45)$$

$$\text{где } m = \sum V_i^2; \quad q = \sum \frac{(P_i - P_1)}{a_i b_i}; \quad l = \sum V_i^4; \quad r = \sum \frac{P - P_1}{a_i b_i} V_i^2.$$

Полученная система уравнений может быть решена методом Крамера:

$$k = \frac{D_k}{D}; \quad \varepsilon = \frac{D_\varepsilon}{D}; \quad D = \begin{vmatrix} n & m \\ m & l \end{vmatrix} = nl - m^2; \quad (7.46)$$

$$D_k = \begin{vmatrix} q & m \\ r & l \end{vmatrix} = ql - mr; \quad D_\varepsilon = \begin{vmatrix} n & q \\ m & r \end{vmatrix} = nr - mq. \quad (7.47)$$

Опыты по динамометрированию плуга ПЛН-4-35 проведены студентами на опытном поле учхоза «Липовая гора» Пермской ГСХА. Количество измерений n в каждом из вариантов – 20.

В таблицу записи и обработки опытных данных (табл. 7.14) в названном примере помещены только первые четыре измерения всех параметров, чтобы сократить достаточно громоздкие вычисления, но сохранить методику расчетов.

Таблица 7.14

Результаты опытов, проведенных для определения коэффициентов рациональной формулы В.П. Горячкина

N опыта	V, м/с	V ²	V ⁴	a, м	b, м	a · b	P, кг	P ₁ , кг	P – P ₁	$\frac{P - P_1}{ab}$	$\frac{P - P_1}{ab} \cdot V^2$
1	2,00	4,00	16,00	0,240	1,410	0,338	1210	330	880	2603,55	10414,200
2	2,01	4,04	16,32	0,250	1,420	0,355	1255	330	925	2605,63	10526,745
3	2,02	4,08	16,56	0,255	1,400	0,357	1262	330	932	2610,64	10651,410
4	2,10	4,41	19,45	0,230	1,390	0,320	1181	330	851	2659,38	11727,86
Σ		16,53	68,42							10479,2	43320,23
		m= 16,53	l=68,42							q=10479,2	r=43320,23

Последующие расчеты на ЭВМ проведены для всех 20 измерений.

Результаты вычислений следующие:

$$D = \left| \frac{n}{m} \frac{m}{l} \right| = nl - m^2 = 4 \cdot 68,42 - 16,53^2 = 0,44 ,$$

$$D_k = \left| \frac{q}{r} \frac{m}{l} \right| = ql - mr = 10479 \cdot 68,42 - 16,53 \cdot 43320,23 = 903,46 ,$$

$$D_\varepsilon = \left| \frac{n}{m} \frac{q}{r} \right| = nr - qm = 4 \cdot 43320,23 - 10479,2 \cdot 16,53 = 59,74 ,$$

$$f = \frac{P_1}{G} = \frac{330}{660} = 0,5 ,$$

$$k = \frac{D_k}{D} = \frac{903,46}{0,44} = 2053,318 \approx 2000 \text{ кг/м}^2.$$

$$\varepsilon = \frac{D_\varepsilon}{D} = \frac{59,74}{0,44} = 135,77 \frac{\text{кгс}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4} .$$

Результаты, определенные при расчете на ЭВМ по программе РАЦФОР (RACFOR) по всем 20 измерениям, оказались следующими:

$f = 0,502$; $k = 1996,30 \text{ кг/м}^2$; $\varepsilon = 150,126 \text{ кгс}^2/\text{м}^4$, что характерно для легких почв.

При расчетах на ЭВМ коэффициент f определен так же, как и остальные, т.е. взята частная производная по f , составлено третье уравнение для системы и решено аналогично предыдущим.

8.0. Защита приоритета исследований и связанных с ними объектами интеллектуальной собственности

В общественном производстве необходимо выделить два взаимосвязанных элемента – это собственно процесс производства и его результат – товары.

Технологии или способы производства являются результатом творческой деятельности ученых и изобретателей, конструкторов и инженеров. Именно их творчество лежит в основе изобретений, которые воплощаются в новых товарах и новых способах их производства. Без результатов творческого труда общество не может развиваться, поскольку именно творческий труд является основой и средством промышленного и общественного развития.

В условиях современной рыночной экономики исключительное значение придается регистрации интеллектуальной собственности, поскольку права на объекты *промышленного права* возникают с момента их *регистрации и получения охранных документов* [57].

Исключительную важность составляют многие *произведения литературы, науки и искусства*, поскольку они являются основными носителями знания и культуры. Знания отражены, прежде всего, в научных и научно-технических произведениях, а также в заявочной и патентной документации.

Объектам интеллектуальной собственности в настоящее время придается торговый аспект. Например, одним из условий вступления во Всемирную торговую организацию (ВТО) является обеспечение защиты прав интеллектуальной собственности. При этом необходимо учитывать, что ряд западных стран обладает исключительным интеллектуальным потенциалом. Во всяком случае, об этом говорит ряд исследований, призванных показать, что доля «индустрии авторского права» или «индустрии культуры» в валовом внутреннем продукте некоторых стран превышает теперь вклад любой иной отрасли общественного производства.

В то же время непрерывно ужесточаются меры с контрафактной «пиратской» продукцией.

Система интеллектуальной собственности перестала быть «спокойной» отраслью права. Сейчас, когда эта система глобализована в интересах экономически развитых стран, она превращается в мощное средство международной торговли и политико-экономического давления.

В соответствии с международными нормами интеллектуальное право включает:

- *личное неимущественное право* (авторство, защита репутации автора);
- *исключительное право* (имущественное, т.е. право на использование объекта интеллектуальной собственности).

Моральные или личные неимущественные права авторов стали признаваться естественным образом с появлением письменности.

Что касается *экономических или исключительных* прав авторов, то

они стали признаваться после изобретения И. Гуттенбергом в 1440 г. печатной технологии.

Считается, что *исключительное авторское право* возникло 3 января 1491 г., когда была выдана первая привилегия на книгу «Phoenix», автором которой был юрисконсульт Петр из Равенны, в которой «повелевается, чтобы никто не осмеливался в городе Венеции и во всех подвластных нам славных владениях печатать или продавать напечатанные экземпляры сказанного сочинения».

В случае нарушения запрета к нарушителям предусматривались меры наказания: конфискация всех экземпляров книг и штраф за каждый экземпляр.

В России первые положения об авторском праве возникли в 1828 г. С 1887 г. нормы авторского права входили в свод законов Российской империи, которые защищали произведения науки, словесности, художественной и литературной собственности.

В 1918 г., в соответствии с Декретом СНК «О научных, литературных, музыкальных и художественных произведениях», права авторов могли быть ограничены, так как любое произведение могло быть признано «достоянием республики».

Интересно отметить и тот факт, что в восточных странах также существовали традиции и подходы к результатам творчества. Там важно было «что сказано», а не «кем сделано» в произведениях.

Первый закон об авторском праве был принят в Китае лишь в 1991 г.

Новым, современным этапом законодательства об авторском праве явилось вступление в силу ряда законов Российской Федерации.

С 2008 г. правоотношения в сфере авторского права регулируются частью четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации.

8.1. Объекты интеллектуальной собственности

Объектами интеллектуальной собственности считаются результаты творческой и интеллектуальной деятельности, которым предоставляется правовая охрана.

В соответствии с современными представлениями, интеллектуальная собственность включает в себя:

- объекты авторского права и смежных прав;
- объекты патентного права;
- маркетинговые обозначения.

Часто объекты патентного и маркетингового обозначения объединяют понятием «*промышленная собственность*».

К объектам авторского права, прежде всего, относят:

- *научные произведения* – это письменные произведения научной, научно-технической, научно-популярной, учебной направленности, воплощенные на материальном носителе (монографии, диссертации, отчеты, учебники, справочники, статьи в научных журналах и т.д.);

- *научно-технические произведения* – это книги, брошюры, статьи,

технические руководства, промышленные каталоги, справочники, нормативно-техническая документация, отчеты по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, депонированные рукописи, переводы научно-технической литературы, заявки, подаваемые в патентные ведомства на выдачу охранных документов.

К объектам патентного права относят:

- изобретения;
- полезные модели;
- промышленные образцы.

К объектам маркетинговых обозначений причисляют:

- фирменные наименования;
- товарные знаки и знаки обслуживания;
- наименование места происхождения товара;
- коммерческие обозначения.

Наиболее доступным способом защиты научной работы (особенно студенческой, аспирантской) является публикация в научно-технических журналах и сборниках научных работ молодых ученых, издающихся практически во всех вузах, как правило, по материалам ежегодных научных конференций.

Требования к оформлению работ, направляемых в журналы, публикуются в соответствующих журналах, а с требованиями к публикациям в сборниках трудов можно ознакомиться на кафедрах или непосредственно в издательствах.

Научные публикации, как уже было отмечено ранее, не дают исключительных, экономических прав, но тем не менее влияют на возможность аспирантской подготовки у студентов, защиты диссертаций (у аспирантов и докторантов) участие в конкурсах претендентов на те или иные должности в учебных и научных организациях.

Разумеется, если научная работа содержит элементы, попадающие в разряд промышленной собственности, то требуется иной уровень защиты, в частности, подача заявки в федеральный орган исполнительной власти на получение патента.

Среди объектов патентного права особое внимание уделяется изобретениям – важнейшим результатам творческой деятельности.

Изобретения от первого – каменного рубила, до современных компьютерных, нано- и пикотехнологий кардинально меняли условия жизни человека, позволяли создавать новые товары, изменили способы производства.

Недаром говорят, что история человечества – это история изобретений.

Разумеется, прежде чем говорить о правовой защите, необходимо отметить и обсудить основные требования, предъявляемые к изобретениям.

Основным свойством, характерным для изобретения, подавляющее большинство опрошенных людей, считают *новизну*.

Во всяком случае, никто не отрицает, что изобретение обязано быть новым, а порой добавляют – и уникальным.

Некоторая неопределенность понятия «новый», «уникальный» в применимости к изобретательской работе требует некоторого обсуждения.

В 60-х...80-х годах прошлого столетия в Советском Союзе велась очень активная работа в школах изобретательства, организованного Всесоюзным обществом изобретателей и рационализаторов (ВОИР).

В недрах этих школ образовался некоторый «изобретательский фольклор», позволяющий просто и убедительно примерить на себя требования патентного законодательства. Согласно этому фольклору в патентное ведомство является заявитель и предлагает запатентовать шило, уникальность которого заключается в длине рабочей части, равной, допустим, 45,1 мм (рис. 8.1).

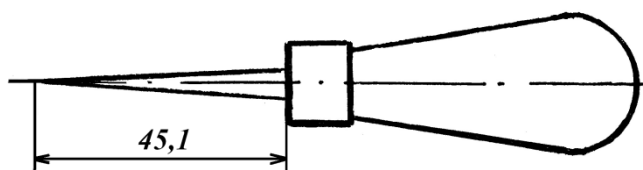


Рис. 8.1. Шило с «уникальной» длиной рабочей части

По мнению заявителя, такое шило – единственное в мире, и посему является новым и уникальным. Разумеется, соискателю эксперт патентного ведомства отказывает в выдаче патента на том основании, что шило, как таковое, уже изобретено, что от любого, небольшого изменения длины лезвия ничего существенного не произойдет, и что не нужно быть изобретателем, чтобы сделать шило любой длины.

Слушатели школ, студенты с этой аргументацией эксперта, как правило, соглашались.

Следующим, после рассерженного изобретателя шила, в патентное ведомство приходит новый посетитель, предлагающий выдать патент на металлический шар определенного веса, добавляющий впрочем, что форма шара даже не обязательна. Эксперт, стараясь сохранить вежливость, объясняет новому посетителю, как и преждему, что гири, кажется, уже изобретены. На возглас потенциального изобретателя, что речь идет не о любом, а строго определенном весе, отвечает, как нотацию читает, что не нужно быть изобретателем, чтобы сделать гирю любого веса, а будь она чуть меньше или чуть больше – ничего не произойдет.

– «Как не произойдет, как не произойдет!» – восклицает заявитель. – Если довести массу этого металла (а я, забыл его назвать, а это Уран-235), до этого значения, то если мы даже будем не вблизи, а за десяток километров от этого места, то увидим на горизонте вспышку «ярче тысячи звезд» (прозрачный намек на замечательную книгу Юнга «Ярче тысячи солнц», повествующую о школе физиков-ядерщиков, создателей первой атомной бомбы»).

Эксперт поспешно стирает пот со лба, ведь перед ним, скорее всего, нобелевский лауреат, сотрудник Э. Резерфорда Ч. Чэдвик, впервые определивший величину критической массы Урана-235.

Итак, два одинаковых, с формальной точки зрения, критерия новиз-

ны этих заявок – *строго определенная величина*, привели к прямо противоположным результатам. Заявка на новое шило признана абсурдной, а вторая, определившая параметры существеннейшего признака атомной бомбы – ее заряда, стало основой одного из самых значительных изобретений прошлого века.

Таким образом, требование новизны оказалось недостаточным, что привело к формированию дополнительного требования к изобретению, это так называемый «*Изобретательский уровень*».

И хотя практическое определение этого необходимого уровня составляет большие затруднения у экспертов, требование в целом не вызывает особых возражений.

И, наконец, третий посетитель патентного ведомства предлагает запатентовать велосипед с квадратным колесом (рис. 8.2).



Рис. 8.2. Велосипед с квадратным колесом

Предложение, скорее всего, является новым и может иметь некоторый изобретательский уровень, но, судя по рис. 8.2, бесполезен, т.к. велосипед не едет.

В связи с этой ситуацией к изобретениям предъявляют еще одно требование – *промышленная применимость*.

Итак, основными требованиями к изобретениям являются:

- новизна;
- изобретательский уровень;
- промышленная применимость.

Эти свойства и закреплены законодательно в Гражданском кодексе РФ, часть четвертая, статья 1350 «Условия патентоспособности изобретения» [57].

В качестве изобретения охраняется техническое решение в любой области, относящееся к *продукту* (в частности, устройству, веществу,

штамму микроорганизмов, культуре клеток растений, или животных) или *способу* (процессу осуществления действий над материальным объектом с помощью материальных средств). **Изобретению предоставляется правовая охрана, если оно является новым, имеет изобретательский уровень и промышленно применимо** [57].

Изобретение является новым, если оно не известно из уровня техники. Изобретение имеет изобретательский уровень, если для специалиста оно явным образом не следует из уровня техники. Уровень техники включает любые сведения, ставшие общедоступными *в мире* до даты приоритета изобретения.

Изобретение является промышленно применимым, если оно может быть использовано в промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении, других отраслях экономики или социальной сферы.

Не являются изобретениями:

- открытия;
- научные теории и математические методы;
- решения, касающиеся только внешнего вида изделий и направленные на удовлетворение эстетических потребностей;
- правила и методы игр, интеллектуальной или хозяйственной деятельности;
- программы для ЭВМ;
- решения, заключающиеся только в предоставлении информации.

В соответствии с настоящим пунктом исключается возможность отнесения этих объектов к изобретениям только в случае, когда заявка на выдачу патента на изобретение касается этих объектов как таковых.

Не предоставляется правовая охрана в качестве изобретения:

- сортам растений, породам животных и биологическим способам их получения, за исключением микробиологических способов и продуктов, полученных такими способами;
- топологиям интегральных микросхем.

Практическое использование этой основополагающей статьи связано с необходимостью обсуждения ряда ее положений [58].

Прежде всего, речь идет об объектах патентных прав.

В первом абзаце статьи закона отмечено, что охране подлежит *техническое решение*, а в объект изобретения введен *продукт*, включающий и штаммы микроорганизмов, и культуру клеток, которые к технике не относятся. Фактически это распространяет правовую защиту с чисто *технических* и на *биотехнологические* изобретения, что предоставляет собой уступку патентных ведомств на необходимость расширения объектов патентования.

Повсеместное распространение информационных технологий сделало актуальным патентование продуктов и способов информационных технологий, хотя некоторые из них, например, компьютерные программы, признаются неохраняемыми патентным правом. Тем не менее, в США и Европейском союзе выданы десятки тысяч патентов на компьютерные программы.

И, видимо, изобретения в области информационных технологий могут войти в наше патентное законодательство (право).

Что касается новизны. Указано, что изобретение является новым, если о нем нет сведений ни в одном источнике информации мира, так, во всяком случае, трактуется понятие *уровень техники*.

В действительности, даже Российское патентное ведомство, которое является Международным поисковым органом, не в состоянии отследить все источники мировой информации.

Таким образом, действительный уровень техники в любой предметной области надежно установить практически невозможно.

Положение с оценкой уровня техники становится критическим, поскольку количество информации возрастает экспоненциально, и с каждым годом все труднее провести анализ уровня техники в любой области.

Проблема роста информации может привести к тому, что установить уровень техники окажется невозможным. Поэтому под угрозой оказывается эффективность и существо всей патентной системы. Во всяком случае, возможность ошибки ведет к признанию необходимости судебного разбирательства спорных случаев.

Еще более сложным в применении стало определение достаточного изобретательского уровня. Согласно статье 1350 (2) Гражданского кодекса РФ «Изобретение имеет изобретательский уровень, если для специалиста оно явным образом не следует из уровня техники». Понятие «специалист» в законодательстве не определено, поэтому возможность необъективности будет зависеть, главным образом, от достаточной квалификации эксперта патентного ведомства, который выносит суждение об изобретательском уровне заявляемого технического решения.

Кроме того, многое из того что уже изобретено, кажется естественным и простым тривиальным решением, но вот почему-то никто иной догадаться о таком техническом решении, кроме самого изобретателя, не мог.

И, тем не менее, требование достаточного изобретательского уровня необходимо, так как иначе, действительно, придется патентовать каждое шило (рис. 8.1) и любой другой предмет, т.к. он всегда имеет индивидуальные черты.

Опыт общения с изобретателями показывает, что чаще всего они не очень обижаются на эксперта, отказавшего в выдаче патента по причине отсутствия изобретательского уровня, если при этом будут ссылки на инженерные знания по общетехническим дисциплинам.

Как-то, в давние времена, когда требования изобретательского уровня в отечественном патентном законодательстве не было, на страницах журнала «Изобретатель и рационализатор» (ИР) была поднята дискуссия по поводу заявки на патентование шурупа со слегка видоизмененным шлицем под отвертку. Поскольку при обычном шлице (рис. 8.3а) головка могла быть разрушена из-за концентрации напряжений, то в варианте «б» эта опасность уменьшилась из-за скруглений в днище шлица.

Несмотря на отсутствие требования изобретательского уровня, дискуссия показала, что основная часть изобретателей (читателей журнала)

оказалась против выдачи патента, так как любому техническому специалисту должен быть известен способ снижения концентрации напряжений, заключающийся, в частности, введением галтелей.

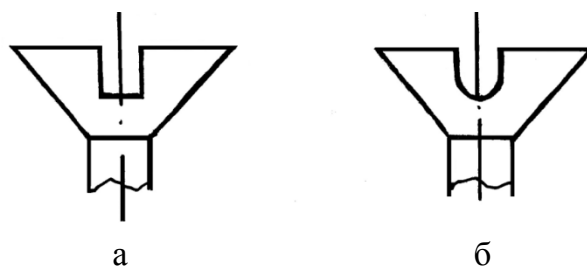


Рис. 8.3. Шурупы с различной формой шлица

Некоторые положения, позволяющие считать заявленные изобретения не имеющими изобретательского уровня, оговорены в правилах рассмотрения (экспертизы) заявок.

В частности, не признаются соответствующими условию изобретательского уровня решения, основанные:

- на дополнение известного средства какой-либо известной частью, присоединяемой к нему по известным правилам, для достижения эффекта, в отношении которого установлено влияние именно таких дополнений;
- на замене какой-либо части известного средства другой известной частью для достижения технического результата, в отношении которого установлено влияние именно такой замены;
- на исключении какой-либо части средства (элемента, действия) с одновременным исключением обусловленной ее наличием функции и достижения при этом обычного для такого исключения результата (упрощение конструкции, уменьшение массы, габаритов, материалоемкости, повышения надежности и пр.);
- на увеличении количества однотипных элементов;
- на выполнении известного средства или его части из известного материала для достижения технического результата, обусловленного известными свойствами этого материала;
- на создании средства, состоящего из известных частей, выбор которых и связь между которыми осуществлены на основе известных правил, рекомендаций, и достигаемый при этом технический результат обусловлен свойствами частей этого средства и связей между ними;
- на изменении количественного признака (признаков).

Тем не менее, спор по поводу наличия или отсутствия изобретательского уровня выиграть практически невозможно, и решение по нему может быть самым необъективным.

Промышленная применимость. Это условие патентоспособности предполагает оценку принципиальной пригодности изобретения для его использования в какой-либо из областей деятельности.

Обычно эксперт требует, чтобы описание изобретения было полным настолько, чтобы его можно было использовать, то есть оно работоспособно.

В случае, если автор не желает «раскрытия» всех условий воплощения изобретения в реальный объект, то оно может быть рассмотрено как секрет производства (ноу-хау), право на которое отражено в главе 75 (статьи 1465...1472) Гражданского кодекса РФ [57].

Очень трудными для экспертизы могут оказаться определения промышленной применимости в так называемых *зонтичных патентах*, которые предназначены не столько для нужд действующего производства, сколько для правового захвата новых, перспективных сфер и направлений деятельности, а готовят заявки на них, как правило, специалисты высшей квалификации.

Нередки случаи, когда даже студенты старших курсов технических специальностей в качестве учебных заявок предлагают устройства, представляющие собой варианты вечных двигателей или инерцоидов, применяющихся как у барона Мюнхгаузена, когда он тащил себя за волосы из болота.

Разумеется, что предложения такого рода промышленного применения иметь не могут и не рассматриваются в патентных ведомствах.

8.2. Оформление заявки на изобретение

Заявка на изобретение подается в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности лицом, обладающим правом на получение патента. К заявке прилагается документ, подтверждающий уплату патентной пошлины в установленном размере или документ, подтверждающий основание освобождения от уплаты, либо уменьшения ее размера.

Заявка должна содержать:

- заявление о выдаче патента с указанием автора изобретения и лица, на которое испрашивается патент, а также места жительства или места нахождения каждого из них;
- описание изобретения, раскрывающее его с полнотой, достаточной для осуществления;
- формулу изобретения, выражающую его сущность и полностью основанную на описании;
- чертежи, или иные материалы, если они необходимы для понимания сущности изобретения;
- реферат.

Датой подачи заявки считается дата поступления в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности.

Заявление на выдачу патента может быть от автора, организации, в которой выполнено изобретение, или наследников автора.

Автором изобретения признается гражданин, творческим трудом которого оно создано. Если изобретение создано в связи с выполнением своих трудовых обязанностей или конкретного работодателя, то заявление направляет работодатель, указывая автора. В случае, когда работодатель не подает заявку в течение четырех месяцев на соответствующее служебное изобретение и не передает право другому лицу, или не сообщает работнику

о сохранении информации в тайне на определенный период, то право на получение патента принадлежит работнику.

В случае, когда авторами являются несколько лиц (соавторы), то взаимоотношения между ними определяются дополнительным соглашением.

В случае смерти автора заявление может быть подано его наследниками.

Описание изобретения должно содержать:

- название, индекс международной классификации, *область техники*, к которой относится изобретение;
- указывается предшествующий *уровень техники* в той степени, в какой он известен заявителю;
- *раскрывается сущность изобретения* так, чтобы можно было понять техническую задачу и ее решение;
- кратко описываются имеющиеся *чертежи*;
- излагается лучший вариант осуществления заявленного изобретения;
- *ясно указывается*, каким образом изобретение может быть использовано в промышленности.

Название изобретения может быть кратким и точным.

Как правило, оно характеризует его назначение и излагается в единственном числе. В названии изобретения не рекомендуется использовать личные имена, фамильные наименования, аббревиатуры, рекламные, фирменные или специальные наименования.

В разделе описания «*Область техники*» указывается область применения изобретения. Если таких областей несколько, указываются преимущественные.

В разделе «*Уровень техники*» приводятся сведения об известных заявителю *аналогах* изобретений с выделением из них аналога, наиболее близкого к изобретению (*прототипа*). В качестве аналога изобретения указывается средство того же назначения, известное из сведений, ставших общедоступными до даты приоритета изобретения.

При описании каждого из аналогов непосредственно в тексте приводятся библиографические данные источника информации, в котором он раскрыт, признаки аналога с указанием тех из них, которые совпадают с существенными признаками заявляемого изобретения, а также указываются известные заявителю причины, препятствующие получению технического результата, который обеспечивается изобретением.

Раскрытие сущности изобретения определяется совокупностью существенных признаков технического решения, достаточной для достижения результата, обеспечиваемого изобретением.

Признаки относятся к существенным, если они влияют на возможность получения технического эффекта, явления, свойства и т.п., объективно проявляющихся при осуществлении способа или при изготовлении либо использовании продукта, в том числе при использовании продукта, полученного непосредственно способом, воплощающим изобретение.

Технический результат может выражаться, в частности, в снижении

(повышении) коэффициента трения; в предотвращении заклинивания; снижении вибрации, повышении быстродействия и т.п.

В качестве признаков, характеризующих устройство, могут быть:

- наличие того или иного конструктивного (конструктивных) элемента (элементов);
- наличие связей между элементами;
- взаимное расположение элементов;
- форма выполнения элемента (элементов) или устройства в целом, в частности, геометрическая форма;
- форма выполнения связи между элементами;
- параметры или другие характеристики элемента (элементов) и их взаимосвязь;
- материал, из которого выполнен элемент;
- среда, выполняющая функцию элемента.

Не следует использовать для характеристики устройства признаки, не влияющие на функционирование устройства и реализацию его назначения.

Краткое описание чертежей

В этом разделе описания приводится перечень фигур с краткими пояснениями того что, изображено на каждой из них.

Если представлены иные графические материалы, поясняющие сущность изобретения, они также указываются в перечне, и приводится краткое пояснение их содержания.

Осуществление изобретения

В этом разделе сообщается, как может быть осуществлено изобретение – реализацией указанного заявителем назначения, предпочтительно путем приведения примеров, со ссылками на чертежи или иные графические материалы, если они имеются.

Для изобретения, относящегося к устройству, приводится описание его конструкции (в статическом состоянии) и действия (работы) или способа использования со ссылками на фигуры чертежей (цифровые обозначения конструктивных элементов в описании должны соответствовать цифровым обозначениям их на фигуре чертежа), а при необходимости – на иные поясняющие материалы (эпюры, временные диаграммы и т.д.).

Если устройство содержит элемент, охарактеризованный на функциональном уровне, и описываемая форма реализации предполагает использование программируемого (настраиваемого) многофункционального средства, то представляются сведения, подтверждающие возможность выполнения таким средством конкретной функции.

Формула изобретения предназначена для определения объема правовой охраны, предоставляемой патентом. Формула изобретения должна быть полностью основанной на описании и выражать сущность изобретения, т.е. содержать совокупность его существенных признаков, достаточную для достижения заявителем технического результата.

Чертежи в формуле изобретения не приводятся. Формула по своей структуре может быть однозвенной или многозвенной и содержать, соответственно, один или несколько *пунктов*.

Пункт формулы излагается из одного предложения с разделением на *ограничительную* и *отличительную* части.

В *ограничительной части* указываются все существенные признаки изобретения, совпадающие с прототипом.

В *отличительной части* указываются признаки, которые отличают изобретение от прототипа. При составлении формулы с разделением на ограничительную и отличительную части, после изложения ограничительной части вводится словосочетание «*отличающийся тем, что*», после которого излагается отличительная часть.

Если изобретение не имеет аналогов, то после родового понятия вводится слово и «характеризующееся», «состоящая», «включающий» и т.п., после которого приводится совокупность остальных признаков, которыми характеризуется изобретение.

Многозвенная формула применяется для характеристики одного изобретения с развитием и (или) уточнением совокупности его признаков применительно к частным случаям выполнения. Пункты многозвенной формулы нумеруются арабскими цифрами последовательно, начиная с 1, в порядке их изложения.

В качестве фольклорного примера, позволяющего иллюстрировать краткое изложение сути изобретения, обычно приводят формулу изобретений (якобы Зингера) на швейную машину:

«Машина для сшивания тканей с иглой, имеющей отверстие на остром конце». Игла с желобками и ушком на острие, используемая с челноком для получения машинного (челночного стежка) была запатентована Э.Гоу еще в 1846 г. Тем не менее, у современников швейная машина осталась связанной с именем Зингера, которым также были запатентованы некоторые механизмы швейной машины, но главное была создана фирма «Зингер», и он много усилий предпринял для производства и внедрения практически во многих странах Европы и Америки качественных швейных машин.

Пример однозвенной формулы. Патент «RU» 2347352.

Авторы: Галкин В.Д., Галкин А.Д., Хавыев А.А., Хандриков В.А., Грубов К.А.

Дека вибропневмосепаратора, выполненная в виде трапеции, содержащая зону расслоения и зону транспортирования, ограниченную короткой и длинной наклонными стенками, воздуховывравнивающее устройство в виде перфорированных полосок, *отличающаяся* тем, что короткая наклонная стенка выполнена из двух вертикально установленных пластин, снабженных шарниром, причем одна из пластин имеет возможность поворота в сторону длинной стенки, к нижним частям пластин прикреплен фартук из воздуонепроницаемого материала, а перфорированные полоски расположены параллельно длинной наклонной стенке, причем площадь живого сечения перфорированных полосок уменьшается пропорционально высотам зернового материала, находящегося на них.

Пример многозвенной формулы. А.С. №528901.

Авторы: Кошурников А.Ф., Гусинцев Ф.Г., Гордеев Б.С.

Высевающий аппарат, содержащий корпус, бункер, высевающий диск с захватами для семян и сбрасыватель семян, *отличающийся тем*, что захваты для семян выполнены в виде электромагнитов;

Аппарат по пункту 1, *отличающийся тем*, что сбрасыватель выполнен из немагнитного материала.

В качестве примера оформления описания изобретения в приложении 1 представлен патент «RU» №2347352 «Дека вибропневмосепаратора», разработанный на кафедре сельскохозяйственных машин Пермской ГСХА.

Реферат служит для целей информации об изобретении и представляет собой сокращенное изложение содержания описания изобретения, включающее название изобретения, характеристику сущности изобретения с указанием достигаемого технического результата. Сущность изобретения излагается в свободной форме. При необходимости в реферате приводятся ссылки на позиции фигуры чертежей, выбранных для опубликования вместе с рефератом.

Рекомендуемый объем текста реферата – до 1000 печатных знаков.

На основании представленных документов патентное ведомство рассматривает заявку, и при ее соответствии установленным требованиям принимает решение о выдаче патента.

8.3. Условия патентоспособности полезной модели

В качестве полезной модели охраняется техническое решение, относящееся к устройству.

Полезной модели предоставляется правовая охрана, если она является новой и промышленно применимой [57].

Полезная модель является новой, если совокупность ее существенных признаков не известна из уровня техники.

Уровень техники включает опубликованные в мире сведения о средствах того же назначения, что и заявленная полезная модель, и сведения об их применении в Российской Федерации.

Субъектами охраны патентного права на полезные модели могут быть те же лица, что и на изобретение, т.е. авторы, работодатели авторов служебных полезных моделей; лица, указанные авторами в заявке на выдачу патентов, правопреемники вышеуказанных лиц.

Заявка на выдачу патента должна содержать:

- заявление о выдаче патента;
- описание полезной модели;
- формулу полезной модели;
- чертежи (если это необходимо);
- реферат.

Для патентной охраны полезных моделей достаточно выполнения *двух условий патентоспособности*:

- новизна;
- промышленная применимость.

По сравнению с условиями патентования изобретений снято требование *изобретательского уровня*.

В Российской Федерации введена явочная система выдачи патентов на полезные модели, т.е. охранный документ (патент) выдается *под ответственность заявителя без гарантии действительности условий патентоспособности*.

8.4. Охрана промышленных образцов

Эстетическая сторона товара является одним из факторов, влияющих на рыночный спрос, поскольку при близких функциональных свойствах и ценовых параметрах покупатель выбирает товар, который ему кажется внешне более привлекательным. Поэтому для производителей важно создать не только технические совершенные товары, но и придать им привлекательный внешний вид. Эстетическое решение внешнего вида товара, безотносительно к его функциональным свойствам, выражается в *промышленных образцах*.

Производители любых товаров заинтересованы в правовой охране созданных ими промышленных образцов, чтобы не только иметь преимущества на рынке, но не дать возможность конкурентам безвозмездно использовать свои разработки. По этой причине в течение многих столетий стала складываться правовая охрана промышленных образцов.

Первый закон, установивший правовую охрану одного из видов промышленных образцов, был принят в Великобритании в 1787 г.

В Российской Федерации правовая охрана промышленных образцов стала предоставляться с 17 июня 1812 г. в соответствии с Манифестом «О привилегиях на разные изобретения и открытия в художествах и ремеслах», в котором под изобретениями в художествах можно понимать и промышленные образцы.

В соответствии с Законом Российской империи 1864 г. «О праве собственности на фабричные рисунки и модели» объектами охраны стали рисунки и модели, предназначенные для воспроизведения в промышленных и кустарных изделиях.

В Советском Союзе и Российской Федерации различные положения по охране промышленных образцов принимались в 1919, 1924, 1936, 1965, 1991, 1992 гг.

С 2008 г. охрана промышленных образцов осуществляется в соответствии с положениями Гражданского кодекса Российской Федерации, согласно которому

Промышленный образец – это художественное или художественно-конструкторское решение внешнего вида товара, произведенного промышленным, ремесленным или кустарным способом [57].

Условия патентования промышленного образца

В качестве промышленного образца охраняется художественно-конструкторское решение изделия промышленного или кустарно-ремесленного производства, определяющее его внешний вид.

Промышленному образцу предоставляется правовая охрана, если по своим существенным признакам он является новым и оригинальным. К существенным признакам промышленного образца относятся признаки, определяющие эстетические и (или) эргономические особенности внешнего вида изделия, в частности, форма, конфигурация, орнамент и сочетание цветов.

Промышленный образец является новым, если совокупность его существенных признаков, нашедших отражение на изображениях изделия и приведенных в перечне существенных признаков промышленного образца, не известна из сведений, ставших общедоступными в мире до даты приоритета промышленного образца.

Промышленный образец является оригинальным, если его существенные признаки обусловлены творческим характером особенностей изделия.

Не предоставляется правовая охрана в качестве промышленного образца:

- решениям, обусловленным исключительно технической функцией изделия;
- объектам архитектуры (кроме малых архитектурных форм), промышленным, гидротехническим и другим стационарным сооружениям);
- объектам неустойчивой формы из жидких, газообразных, сыпучих или подобных веществ.

Заявка на выдачу патента должна содержать:

- заявление о выдаче патента;
- данные в отношении заявителя;
- изображение изделия, дающее детальное представление о его внешнем виде;
- описание промышленного образца (к заявлению может прилагаться чертеж общего вида изделия, эргономическая схема, конфекционная карта).

8.5. Права и обязанности патентообладателей

Патенты на изобретения, полезные модели и промышленные образцы обеспечивают, как правило, *личное неимущественное право* и *исключительное право*, согласно которому правообладатель самостоятельно решает, каким образом будет использоваться объект патента.

Исключительное право обычно включает право на *воспроизведение* товаров, *право на распространение*, *право преждепользования* и *право послепользования*.

Право преждепользования – это право любого физического или юридического лица на дальнейшее безвозмездное использование собственного

изобретения без расширения объема такого использования, если иное лицо получило патент на тождественное изобретение.

Право послепользования – это право любого лица на безвозмездное использование изобретения без расширения объема его использования, если оно началось или подготовлено во время неуплаты патентообладателем пошлины за поддержание в силе патента на тождественное изобретение.

Сроки действия исключительных прав составляют:

- патент на изобретение – 20 лет с даты первоначальной подачи заявки в патентное ведомство с возможностью продления на 5 лет по ходатайству патентообладателя, но только в отношении лекарственных средств, пестицидов или агрохимикатов;

- патент на полезную модель в течение 10 лет и возможность продления на срок не более чем на три года;

- патент на промышленный образец – пятнадцать, с возможностью продления не более чем на 10 лет.

По поводу этих сроков в стране ведется дискуссия [59], [60]. Дело в том, что иногда этот срок недостаточен, особенно если для реализации изобретения требуются значительные затраты, многолетнее строительство, создание сложного оборудования.

С другой стороны, большие сроки правовой защиты очень часто приводят к *монополизму*. Монополист всегда стремится установить завышенные цены как на объект интеллектуальной собственности, так и на товары, в которых эти объекты выполнены.

Неудовлетворительный спрос из-за высоких цен и низкой покупательной способности населения ведет к появлению контрафактной продукции.

Правообладатели всеми мыслимыми и немыслимыми способами вынуждены бороться с нарушениями своих прав, хотя они сами в определенной мере их и вызывали. Использование репрессивных мер против контрафактной продукции малоэффективно. Если бы использовались, наряду с карательными, еще и экономические методы, допустим, увеличив объем производства снизить цены до уровня, близкого к контрафактным, то потребитель, естественно, предпочтет продукцию, произведенную законным путем. Только в этом случае производство контрафактных товаров окажется убыточным, и они исчезнут с рынка.

Для регулирования как конкуренции, так и монополизма, установления баланса интересов не только между различными производителями, но и в обществе разработана система *управления* интеллектуальной собственностью. Прежде всего, патентообладатель для поддержания действия патента обязан регулярно вносить *пошлину*, размер которой очень быстро растет во времени, и если изобретение, полезная модель или промышленный образец долго не внедряют в производство, то он понесет убытки.

Снижение выплат за получение патента и освобождение от пошлин возможно, если заявитель при подаче заявки на выдачу патента приложит заявление о том, что в случае выдачи патента он обязуется заключить договор об отчуждении патента на условиях, соответствующих установившейся практике, с любым гражданином Российской Федерации или российским

юридическим лицом, кто первым изъявит желание и уведомит патентообладателя и федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности. При наличии такого заявления, патентные пошлины в отношении заявки на выдачу патента на изобретение и в отношении патента, выданного по такой же заявке, не взимаются.

Федеральный орган исполнительной власти публикует в оригинальном бюллетене сведения об указанном заявлении.

Патентообладатель может подать в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности заявление любому лицу права использования изобретения, полезной модели или промышленного образца (открытая лицензия). В этом случае патентные пошлины могут быть снижены на пятьдесят процентов. В остальных случаях размер пошлин устанавливается законодательством Российской Федерации о налогах и сборах.

Основной способ передачи исключительного права на объект интеллектуальной собственности – это переход права по письменному *лицензионному договору* от правообладателя к правопреемнику на установленных ими условиях. Лицензионный договор иногда называют *лицензионным соглашением* или просто *лицензией*. Существует много видов лицензионных договоров, например, исключительная лицензия, единственная лицензия, неисключительная лицензия сублицензии, открытая лицензия, принудительная лицензия и др.

Исключительная лицензия – это передача исключительного права или его части по лицензионному договору только одному лицу без сохранения переданного права первичным правообладателем. Исключительная лицензия называется *полной лицензией*, если передается все исключительное право одному лицу.

Единственная лицензия – это передача исключительного права или его части только одному лицу с сохранением переданного права за первичным правообладателем.

Неисключительная лицензия – это передача исключительного права или его части нескольким лицам с сохранением переданного права за первичным правообладателем.

Сублицензии – лицензии, выдаваемые лицензиатом (лицом, приобретшим лицензию у правообладателя) иным лицам, если это разрешено условиями лицензионного соглашения с лицензиаром (правообладателем, передавший исключительное право на объект интеллектуальной собственности иному лицу на основе лицензионного договора).

Открытая лицензия – это неисключительная лицензия, предоставляемая патентообладателем иным лицам на условиях, опубликованных в официальном бюллетене патентного ведомства.

Публичная оферта – письменное предложение патентообладателя (оферента), адресованное неопределенному кругу лиц (акцептантам), которое достаточно определенно выражает намерения патентообладателя заключить договор с любым лицом, которое примет предложение на изложенных условиях.

Принудительная лицензия – это лицензия, которую предоставляет патентообладатель иным лицам по решению суда при неиспользовании или недостаточном использовании своего патента.

В настоящее время признается только одна причина принудительного представления лицензии третьим лицам – если патентообладатель в течение некоторого времени с даты получения патента (четыре года – для изобретений и три года – для полезных моделей и промышленных образцов) не использовал или недостаточно использовал соответствующее решение в собственном производстве (антимонопольная мера).

Если будет доказана уважительная причина неиспользования, то суд примет это во внимание.

8.6. Охрана маркетинговых обозначений

Маркетинговые обозначения охватывают:

- фирменные наименования;
- товарные знаки;
- наименования места происхождения товара;
- доменные имена.

Трудно отнести их к объектам интеллектуальной собственности, поскольку трудно обнаружить в них наличие творческого труда (разве только в том, что они часто используются для обозначения товаров, в которых воплощены объекты интеллектуальной собственности).

Тем не менее, Парижская конвенция в 1883 г. признала их охрану на международном уровне, причем, товарным знакам посвящена большая часть Конвенции, чем изобретениям и промышленным образцам.

Добросовестный производитель часто многими годами и даже десятилетиями приучает доверять его продукции, узнавать его товарные знаки, а его конкуренты часто стараются свою, менее качественную продукцию обозначить теми же знаками, что ведет к обману покупателей и наносит ущерб основному производителю, так как снижает его репутацию.

Товарные знаки имеют давнюю историю. Во всех древних цивилизациях на товарах и даже животных ставились *клейма* – специальные знаки для указания изготовителя или владельца. При ремесленном производстве использовались знаки, идентифицирующие их гильдии.

Первый закон в отношении охраны прообразов товарных знаков был принят в Англии в 1266 г.

Личные клейма представляли большую ценность, и их передача по наследству или по завещанию особо оговаривалась.

В Европе широко применялись купеческие знаки для указания имени купца, поставляющего тот или иной товар. Подделка знаков запрещалась, а наказанием могла быть смертная казнь или отсечение правой руки.

Развитие промышленного производства привело к замене знаков и клейм гильдий товарными знаками предприятий.

В Российской империи с 1830 г. действовало положение о клеймении изделий русских мануфактур, фабрик и заводов, а в 1896 г. был принят закон «О товарных знаках (фабричных и торговых марках и клеймах)».

В СССР законы о товарных знаках принимались и уточнялись в 1917, 1922, 1926, 1936, 1962, 1991 гг.

С 2008 г. правовое положение товарных знаков и знаков обслуживания регулируется Гражданским Кодексом Российской Федерации.

Фирменное наименование – это название участника гражданского оборота, которое может не совпадать с его полным или сокращенным наименованием, регистрируемым в установленном порядке, но имеет с ним, то или иное сходство.

Гражданский Кодекс предоставляет право юридическому лицу и «исключительное право на фирменное наименование, включаемое в единый государственный реестр юридических лиц». Такое возникает с момента государственной регистрации юридического лица и прекращается с прекращением юридического лица или изменением его наименования.

Товарные знаки – это обозначения, способствующие отличию товаров одного производителя от соответствующих товаров иных производителей.

Знаки обслуживания – это обозначения, способствующие отличию услуг одних лиц от соответствующих услуг иных лиц.

В качестве товарных знаков могут быть зарегистрированы разнообразные обозначения:

- *символьные* – в виде цифр, слов, фраз, предложений;
- *изобразительные* – в виде изображений живых существ, предметов, природных или иных предметов, фигур, композиций линий, пятен, а также букв, цифр, слов в особом графическом исполнении;
- *объемные* – в виде объектов или фигур в трех измерениях;
- *комбинированные* – в виде композиции элементов разного характера: символьных изобразительных, объемных и т.д.
- *звуковые, световые, обонятельные* и другие обозначения.

Помимо *индивидуальных товарных знаков*, предназначенных для отличия одних производителей от других производителей аналогичных товаров и услуг, существуют *коллективные знаки*.

Коллективные знаки – это товарные знаки, которые служат для обозначения товаров с едиными качественными и иными характеристиками, производимых и реализуемых объединениями предприятий.

В экономической литературе, помимо термина «*товарный знак*», чаще используются «*бренд*», «*торговая марка*», «*логотип*», «*слоган*» и т.д.

Правовая охрана товарных знаков осуществляется на основании их регистрации. Право на товарный знак подтверждается *свидетельством*, которое удостоверяет исключительное право владельца на товарный знак в отношении товаров, указанных в свидетельствах.

Заявка на государственную регистрацию товарного знака подается в федеральный орган исполнительной власти по интеллектуальной собственности юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем.

Заявка должна содержать:

- заявление о государственной регистрации обозначения товарного знака с указанием заявителя, его места жительства или места нахождения;

- заявляемое обозначение;
- перечень товаров, в отношении которых испрашивается государственная регистрация и которые сгруппированы по классам Международной классификации товаров и услуг для регистрации заявок;
- описание заявляемого обозначения.

Охранное свидетельство выдается, если регистрируемый товарный знак обладает различительной особенностью, и в его доминирующей части отсутствуют абсолютно и относительно неохраноспособные обозначения.

Различительная особенность товарного знака часто понимается как его *новизна*.

Основаниями для отказа может быть для знаков, вошедших во всеобщее употребление, являющихся общепринятыми, представляющих собой форму товара.

В качестве товарных знаков не могут быть гербы, флаги и другие государственные символы и знаки, сокращенные и полные наименования международных и правительственных организаций; официальные контрольные, гарантийные или пробирные клейма, печати, награды и другие знаки отличия. Не допускается государственная регистрация в качестве товарных знаков обозначения, способные ввести в заблуждение потребителей и др.

Исключительное право на товарный знак действует в течение десяти лет, но срок действия может быть продлен на последующие десять лет неограниченное число раз.

В случае нарушения исключительного права правообладатель может потребовать в качестве компенсации выплаты в размере от 10 тыс. рублей до 5 млн. рублей; в двукратном размере стоимости контрафакта, изъятия контрафактных товаров, оборудования и материалов, используемых для их производства.

8.7. Охрана географических указаний

Понятие *географическое указание* включает:

- указание происхождения товаров;
- наименование места происхождения товара.

Обычно указание происхождения товара относится к стране («Сделано в СССР», «Made in China» и т.п.), географическому региону или местности.

Наименование места происхождения товара – это обозначение, которое отражает уникальные свойства товара, характерные для места его происхождения, т.е. особые природные, трудовые, производственные условия.

В основном это сельскохозяйственная продукция, алкогольные напитки, минеральная вода и т.д.

В отличие от указаний мест происхождения товаров *наименование мест происхождения товаров* подлежит государственной регистрации.

Заявка на регистрацию и представление такого права должна содержать:

- наименования места происхождения;
- указание товара, для которого предназначено наименование;

- указание места происхождения товара;
- описание особых свойств товара;
- заключение компетентного органа;
- документ, подтверждающий уплату пошлины.

После регистрации патентное ведомство выдает заявителю *свидетельство об исключительном праве на наименование места происхождения товара*.

Обладатель свидетельства не является единственным субъектом, который имеет право использовать зарегистрированное наименование места происхождения товара.

Патентное ведомство может выдать аналогичное свидетельство и любому другому лицу, которое в границах того же географического объекта производит товар, обладающий теми же свойствами.

Домены и интеллектуальная собственность

Создание, производство и широчайшее распространение персональных компьютеров привело к появлению ряда проблем с защитой интеллектуальной собственности.

Прежде всего, с помощью Интернета цифровые копии аналоговых объектов переходят из личного в общественное достояние, хотя на авторские или смежные права срок действия исключительного права не истек.

В законодательстве стран-участников Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) после Дипломатической конференции 1996 г. включены положения, которые признают неправомерным размещение охраняемых объектов в Интернете без разрешения правообладателей.

Еще более значимая проблема возникла в связи с тем, что Интернет оказался идеальной средой для *электронной торговли*. В результате коммерциализации Интернета в нем оказались и такие объекты, как товарные знаки, фирменные наименования, географические указания и т.д.

В связи с относительной простотой регистрации домена (части сетевого адреса сайта, портала или ресурса в Интернете), которая выполняется в режиме реального времени (on-line) и не требует подтверждения правомерности выбранного доменного имени, появилась возможность неправомерных способов использования маркетинговых обозначений.

Одним из них стал *киберсквоттинг* (cybersquatteng).

Киберсквоттинг – это использование товарного знака, фирменного наименования, географического указания и иных объектов в качестве доменного имени лицами, которые не обладают исключительными правами на эти объекты.

Существует несколько причин возникновения киберсквоттинга.

Во-первых, регистрация доменного имени чужим, охраняемым маркетинговым обозначением, предназначена для перепродажи зарегистрированного домена лицу, которому правомерно принадлежит право на маркетинговое обозначение, но которое своевременно не успело или не смогло зарегистрировать соответствующее доменное имя.

Такие спекулятивные действия приобрели широкое распространение, причем объемы сделок по перепродаже очень велики: за некоторые доменные имена выплачиваются миллионные суммы.

Во-вторых, регистрация доменного имени охраняемым маркетинговым обозначением предназначена для ведения недобросовестной электронной торговли.

Имена домена могут вызвать ложные ассоциации с действительными производителями известных высококачественных товаров.

Объем киберсквоттинга очень велик, и, по многим данным, более 70% имен доменов, ассоциированных с известными брендами, зарегистрированы иными лицами.

Такое положение дел ставит задачу необходимости принятия упрощенных норм аннулирования доменных имен, зарегистрированных с нарушением прав интеллектуальной собственности третьих лиц.

8.8. Право на использование результатов интеллектуальной деятельности в составе единой технологии

Единой технологией признается выраженный в объективной форме результат научно-технической деятельности, который включает в том или ином сочетании изобретения, полезные модели, промышленные образцы, программы для ЭВМ или другие результаты интеллектуальной деятельности.

В состав единой технологии могут входить также результаты интеллектуальной деятельности, не подлежащие правовой охране, в том числе технические данные, другая информация.

Право использовать результаты интеллектуальной деятельности в составе единой технологии как в составе *сложного объекта* принадлежит лицу, организовавшему создание единой технологии (право на технологию) на основании договоров с обладателями исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности, входящие в состав единой технологии.

В состав единой технологии могут входить также охраняемые результаты интеллектуальной деятельности, созданные самим лицом, организовавшим ее создание.

В последнее время наметился интерес и востребованность договоров о *коммерческой концессии единых технологий*, которые обычно называют *франшизным договором* или просто *франшизой*.

Производственная деятельность, связанная с такими договорами, называется франчайзинг.

Термин «франшиза» происходит от английского слова «franchise» - привилегия, льгота.

Франчайзинг – комплексная лицензия на передачу технологии производства товаров или предоставления услуг с учетом опыта и репутации лицензора.

Существует множество примеров франчайзинга, которые относятся в основном к следующим видам:

- франшизы на производство товаров (от простейшего разбавления концентратов секретного состава, например, Coca-Cola, Pepsi-Cola, и т.д. до высокотехнологичных производств, например, бытовой техники, электроники);

- франшизы на представление услуг (например, предприятиями быстрого питания McDonalds, Pizza Hut и проч., станциями техобслуживания автомобилей, автозаправочными станциями и т.д.):

- франшизы на торговлю, например, в фирменных магазинах автомобилей, бытовой техники, одежды, обуви, косметики и т.д.

Несмотря на недостатки, связанные, прежде всего, с усилением монополизма соответствующих франшизных сетей, франчайзинг представляет собой эффективный способ распространения современных технологий во многих областях деятельности и сферы услуг.

Франчайзинг тесным образом связан с использованием широкого класса интеллектуальной собственности. Его монопольная избыточность может регулироваться соответствующими положениями гражданского и антимонопольного законодательства.

В отношении нарушений прав интеллектуальной собственности в большинстве стран используется термин «контрафактный» (от англ. Counterfeit), имеющий множество близких значений: поддельный, подложный, фальсифицированный, фальшивый, фиктивный, дезориентирующий, вводящий в заблуждение и т.д.).

Контрафактный товар – это любой товар, произведенный без разрешения правообладателей объектов интеллектуальной собственности,

Правообладателем предоставляется право требовать через суд выполнения действий по защите прав интеллектуальной собственности.

8.9. Способы совершенствования изобретательского творчества

Изобретательство – древнейшее занятие человека. Собственно с изобретения первых орудий труда и начался процесс очеловечивания наших далеких предков. Перед первобытным человеком вставало множество задач: как заострить камень, чтобы сделать из него топор, как добыть огонь и предохранить его от ветра и дождя, как сдвинуть тяжелый камень и закрыть им на ночь вход в пещеру. Первыми универсальными, пережившими века изобретениями стали клин, колесо, рычаг.

Со временем задачи усложнялись, число их многократно увеличивалось, но методы решения не менялись: «Попробуем сделать так...Нет, не получается...Тогда сделаем так... Тоже не получается...Может быть так будет лучше?...»

Перебрав массу вариантов, настойчивый изобретатель находил в конце-концов приемлемое решение. Это так называемый *метод проб и ошибок*.

При переборе вариантов часто превалирует субъективизм, отсутствуют правила выдвижения идеи и критерии их оценки. Правда, по мере развития техники, накопления знаний и опыта изобретателю, порой, нет

необходимости проверять все возможные варианты. Многое он может заранее оценить, принять или отбросить. И все-таки решение может занимать месяцы, годы, и безо всяких гарантий на успех.

Иногда считают, что и в прошлом далеко не все изобретения делались методом «проб и ошибок». Часто, мол, изобретение приходит как мгновенная разгадка, озарение. «Эврика!» – как воскликнул Архимед, когда неожиданно нашел метод определения количества серебра в знаменитой гидеоновой короне...

Не случайно и А.С. Пушкин писал «Случай – бог-изобретатель»...

Случаев таких, конечно, очень много.

Физик Беккерель случайно открыл радиоактивность, обнаружив, что завернутая в черную бумагу фотопластинка, лежавшая рядом с солью урана, оказалась засвеченной.

Мариле вынул из бочки со скипидаром случайно упавший туда рабочий костюм. Он оказался чистым, без пятен, благодаря чему в 1870 г. был изобретен способ химчистки тканей.

Считают, что вид кипящего чайника навел Уатта на идею паровой машины, а обычная паутина подсказала инженеру Брандту принцип конструкции висячих мостов...

Изобретений такого рода действительно очень много, но обычно такое озарение бывает финалом очень долгой подготовительной (иногда длинной в целую жизнь) работы.

Лагранж по этому поводу заметил: «На случай наталкивается тот, кто его заслуживает».

Многие годы человечество пыталось разработать методы повышения эффективности решения изобретательских задач, создать методику, науку о решении творческих задач – *эвристику*.

Слово «Эвристика» впервые появилось в трудах греческого математика Пайпа Александрийского, жившего во второй половине III века нашей эры и относилось то к логике, то к философии, то к психологии.

Но еще задолго до этого использовались методы повышения творческих способностей человека. Так, еще Сократ (469...399 гг. до н.э.) в беседах с учениками стремился преподать не готовую систему знаний, а метод, которым можно эту систему создавать. Ставя наводящие вопросы, он стимулировал пробуждение скрытых (латентных) творческих способностей людей, рождение ими продуктивных идей. Метод назывался *майотикой* Сократа. Дословно это означает *акушерское искусство*, что достаточно метко выражает его суть.

Это и известный «тренажер» Архимеда, состоящий из 14 пластинок слоновой кости, с помощью которых можно было составить множество фигур и т.д.

Упадок античных наук в средние века привел к забвению начал эвристики. Лишь в XVI-XVII столетиях трудами Г. Галилея и Ф. Бэкона эвристические методы стали использоваться вновь. Значимый вклад в эвристику нового времени внес выдающийся ученый, основатель академии наук Германии Г.-В. Лейбниц (1646...1711 гг.).

Основой его предположений явилась *комбинаторика*, позволяющая «из немногoго составить бесконечное». Методы комбинаторики используются и современными изобретателями. В качестве примера часто используют определение вариантов конструкции ножа.

Одной из проблем в изобретательстве является так называемая *инерция, стереотип мышления*.

Существующие конструкции ножей достаточно схожи и мысли изобретателей вращаются вокруг них. Но если учесть возможности изменения формы лезвия, материала, способа защиты лезвия от затупления, привлечения дополнительных функций, то количество вариантов конструкции будет очень много, и нужно будет выбирать новые, интересные сочетания.

По поводу стереотипа мышления даже выдающихся ученых современности в автобиографических записках Л. Инфельда рассказывается о задаче, которую известный физик-экспериментатор, нобелевский лауреат П.Л. Капица предложил физикам-теоретикам Л. Ландау (тоже нобелевский лауреат) и Л. Инфельду – авторам многотомного учебника по физике, используемom во всем мире, задачу: «Собаке привязали к хвосту металлическую сковородку. Когда собака бежит, сковородка стучается о мостовую. Вопрос: С какой скоростью должна бежать собака, чтобы не слышать стука сковородки?»

Л.Инфельд вспоминает: «Мы с Ландау долго размышляли, какое тут возможно решение. Наконец Капица сжалился над ними и дал ответ, – разумеется, очень смешной...». Ответ и в самом деле неожиданный: скорость равна нулю.

Что затрудняло решение задачи? Условия задачи говорят о *скорости*, а скорость в нашем представлении, твердо связана с движением.

Начиная с 20-х годов прошлого века, для расшатывания стереотипа мышления используется оператор РВС (размеры, время, стоимость). Это список вопросов о том что можно изменить в объекте (с изменением размеров в ту или иную сторону в широких пределах, можно ли упростить объект, что можно заменить, перевернуть наоборот и т.д.).

Большое количество работ, направленных на поиск совершенствования изобретательского труда, было посвящено изучению психологии и образа мышления выдающихся людей. Среди ученых этого направления выдающийся невропатолог и психолог В. Бехтерев, инженер-патентовед П. Энгельмейер, американские психологи С. Кокс и Л. Термен, опубликовавшие работу «О ранних умственных чертах 300 гениев, а затем Л. Термен и М. Иден изучали на протяжении 25...30 лет судьбу 1000 наиболее одаренных учащихся и написали трехтомное «Исследование гениальности».

К сожалению, выводы из этих работ скромны, существенных особенностей и характерных черт изобретателя не установлено.

Основным способом создания изобретений продолжал оставаться все тот же метод «*проб и ошибок*».

Так, даже изобретатель номер один в мире – Томас Эдисон, автор 1099 изобретений, человек с огромной интуицией и опытом работы, не обходился без перебора вариантов. При подборе материала для лампы нака-

ливания он провел 6 тыс. опытов, а при разработке щелочного аккумулятора потребовалось около 50 тыс. опытов.

Об изобретателе вулканизированной резины Чарльзе Гудииере (Good-year) писали, что он смешивал сырую резину (каучук) с любым, попадавшим ему под руку веществом: солью, перцем, сахаром, песком, касторовым маслом, даже с супом! Он считал, что перепробует все, что есть на земле, пока не наткнется на удачное сочетание. И ведь наткнулся!

В настоящее время метод «проб и ошибок» не критикует уже только очень ленивый. Но ведь у метода, которым сделана большая часть изобретений, должны быть и положительные свойства. По всей видимости, это простота методики действий, позволяющая любому равнодушному человеку отважно броситься на решение задачи, как говорят, уйти в нее с головой и не терять ее, если сразу ничего не получится. А отрицательный результат, это тоже результат, он все равно заставляет думать над причинами, а глубоко вникнув в задачу, человек решение находит.

В 1953 г. американский ученый А. Осборн предложил методику изобретательства, назвав ее «*мозговым штурмом*» (англ. Brainstorming), которая стала популярной при стимулировании творческой активности. Метод основан на допущении того, что существуют две категории людей: одни активны, творчески настроены, может быть даже фантазеры, во всяком случае хорошо и часто с удовольствием «*генерируют идеи*», но, к сожалению, плохо ориентируются в реальных производственных условиях. Высказывать интересные неординарные идеи им порой мешает опасение скепсиса, насмешки (т.е. боязнь оценки) со стороны коллег и особенно руководителей.

Другая группа людей (часто к ним относятся даже опытные специалисты) имеет склонность к критическому анализу (по словам Г. Форда, «хорошо лишь знают, как нельзя делать»), но зато хорошо знают производство.

Классическая техника мозгового штурма основывается на двух принципах: «отсрочка вынесения приговора идеи» и «из количества рождается качество».

Создаются две группы участников. В одну из них вводят людей первой группы, всесторонне развитых, желательно разных по специальности, в том числе далеких от специфики решаемой задачи.

Эта группа начинает сеанс штурма. Он состоит в формулировке задачи (это делает обычно ведущий) и свободном высказывании участниками любых идей ее решения: реальных и фантастических, серьезных и шуточных, конкретных и туманных, стоящих и нелепых.

Приветствуется свободный полет фантазии. Люди должны попытаться максимально раскрепостить свое воображение. Идей должно быть много. От каждого участника просят представить максимальное количество идей.

Критика, даже скептические улыбки, а тем более давление со стороны ведущего недопустимы.

Все высказанные мысли фиксируют и передают второй группе, для разбора и определения возможности реализации. Атмосферу «мозгового

штурма» можно представить по аналогам, встречающимся в известной телевизионной программе: «Что? Где? Когда?».

На завершающем этапе производится отбор лучшего решения или некоторой комбинации идей.

В последнее время появился ряд модификаций этого метода. Иногда его называют «метод конференции идей» или даже «совещание пиратов» с характерным лозунгом «Даже бредовые идеи лучше, чем их полное отсутствие».

Для оправдания этого тезиса в изобретательском фольклоре часто приводится задача: «О защите транспортных судов от торпед и мин». Эта задача волновала многих моряков транспортных судов, перевозивших большое количество грузов в виде помощи нашей стране во время Второй мировой войны. Из транспортных судов формировали караваны, которые перемещались под защитой сторожевых военных кораблей. Но море есть море. Во время шторма, например, караван мог быть разбросан и тогда возникала реальная угроза встречи с подводными лодками или минами противника. В одной из таких ситуаций, капитан, увидевший перископ вражеской подводной лодки, якобы вызвал команду на палубу и «предложил» вопрос: «Что делать?» (т.е. организовал штурм).

Во время штурма один из матросов, не потерявший чувства юмора в этой безысходной ситуации, предложил встать всем вдоль борта и, если появится торпеда, всем дружно дуть на нее, чтобы сбить с курса.

Идея, что и говорить, бредовая, но при ее анализе попытались найти «рациональное зерно». Один из экспертов заметил, что воздушным потоком воздействовать на мину или торпеду нельзя, т.к. они почти полностью погружены в воду. Если действия и возможны, то только водой.

Другой эксперт заметил, что в принципе есть на любом судне и источник сильного водяного напора – насосы, предназначенные для аварийной откачки воды.

Тогда третий эксперт предложил объединить насосное хозяйство судна и защитить хотя бы наиболее уязвимые точки бортов судна.

Кстати, мозговой штурм дает возможность объединить в процессе поиска решений очень разных людей, а если группе удастся найти решение, то ее участники становятся стойкими приверженцами его реализации.

Наряду с обычным известен и «обратный мозговой штурм» (или «атака»), в котором основным элементом является критика, направленная на максимальное выявление недостатков, настоящих и потенциальных, могущих возникнуть в связи с дефицитом материалов, источников энергии и т.п.

Цель «атаки» – обеспечить длительную конкурентоспособность объекта.

Двойная прямая мозговая атака учитывает особенность психики, когда решение люди находят не в нужный момент, а позже. Если между сеансами «штурма» сделать перерыв, то появляется возможность выявления наиболее ценных идей.

Аналогичен этому, так называемый метод «блокнота», когда участникам выдаются блокноты, в который они в течение определенного време-

ни (неделя, месяц) записывают свои соображения, идеи, направления поиска решений.

В последние годы широкое распространение получил «электронный мозговой штурм» (online brainstorming), использующий Интернет-технологии. Он позволяет почти полностью исключить...боязнь оценки.

И, наконец, практика «мозгового штурма» привела к созданию профессиональных групп – *синекторов*. Это люди, чаще всего специально подобранные и подготовленные к решению изобретательских задач. Они с уважением относятся друг к другу, и даже критическое обсуждение не мешает им генерировать новые идеи и продолжать их анализ, предполагая глубокое взаимопонимание.

Такую разновидность «штурма» называли «*Синектикой*». Подготовка синектических групп является дорогой и длительной, но, тем не менее, ведется практически во всех известных крупных зарубежных фирмах, таких, например, как IBM, General Motors, General Electric и т.д.

Ряд интересных и практически применяемых методов изобретательства был разработан в Советском Союзе. Наиболее широкое распространение получил так называемый АРИЗ (Алгоритм решения изобретательских задач), созданный замечательным инженером Г.С. Альтшуллером еще в 1946 г. Впоследствии АРИЗ был переименован в ТРИЗ (теория решения изобретательских задач).

Г.С. Альтшуллер проявил недюжинные способности к пропаганде своих идей в изобретательской среде. В стране, через систему ВОИР (Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов) была организована учеба с помощью всевозможных семинаров, кружков, школ изобретателей, организуемых практически на всех предприятиях.

На крупных предприятиях и организациях, в органах исполнительной власти, во многих профессиональных союзах были созданы отделы ВОИР, профессионально руководившие этим направлением работы. Результатом стал тот факт, что уже в 60х годах ежегодный объем зарегистрированных изобретений превысил соответствующий поток США. (Разумеется, это не касается общего патентного фонда США).

В 1989 г. была образована международная Ассоциация ТРИЗ. Тогда же на рынке появился программный продукт «*Изобретающая машина*», который базируется на некоторых ТРИЗ-технологиях и помогает инженерам решать технические проблемы.

В 1995...97 гг. этот программный продукт, переведенный на английский язык, приобрели такие известные фирмы, как «Ford», «Caterpillar», «Procter & Gamble», IBM, а «Motorola» заключила контракт на поставку 1000 копий системы.

Подписан контракт на перевод «Изобретающей машины» на японский язык.

Сегодня услугами специалистов ТРИЗ начали пользоваться разработчики государственных программ, политические деятели, бизнесмены, менеджеры. Более десяти лет в стране накапливается интересный опыт ис-

пользования ТРИЗ в образовании, для развития мышления у детей разного возраста.

Специалисты по ТРИЗ из бывшего СССР стали особо востребованы во многих странах мира.

Основные элементы ТРИЗ

Решение технических задач начинается с постановки задач.

Г.С. Альтшуллер [60] рекомендует быть очень осторожным при постановке задачи. Дело в том, что *«социальный заказ»* часто ставит задачу перед изобретателем уже в сформулированном виде, например: Улучшить такой-то объект, чтобы получить такие-то результаты.

Но ведь может быть изобретательское решение лежит вообще вне этой машины, т.е. возможен какой-то обходной шаг.

Кроме того, привязка задачи к определенной машине сразу создает стереотип мышления. Поэтому ТРИЗ считает, что чрезвычайно важно избежать ошибки в постановке задачи. Во всяком случае, считается, что *никогда нельзя принимать на веру задачи, сформулированные другими*. Если бы задачи были сформулированы правильно, то, вероятнее всего, их решили бы те, кто их встретил.

Но вот постановщики задачи зашли в тупик и предполагают изобретательно двигаться по нему дальше!

В основе задачи должна стоять цель, а не какой-либо метод ее решения. Цель почти всегда выбирается правильно, а средства ее достижения почти всегда указываются неверно.

В постановке задачи желательно избегать излишне профессиональной терминологии и устрашающих представлений. Так, на одном из семинаров [60] по теории изобретательства слушателям была предложена задача: «Допустим 300 электронов должны были несколькими группами перейти с одного энергетического уровня на другой. Но квантовый переход совершился числом групп на две меньшим, поэтому в каждую группу вошло на 5 электронов больше. Каково число электронных групп? Эта сложная проблема до сих пор не решена».

Слушатели – высококвалифицированные инженеры, заявили, что не берутся решать эту задачу: «Тут квантовая физика, а мы – производственники. Раз другим не удалось, нам подавно не удастся».

Тогда руководитель семинара взял в руки сборник задач по алгебре и прочитал текст задачи: «Для отправки 300 пионеров в лагерь было заказано несколько автобусов, но так как к назначенному сроку два автобуса не прибыли, то в каждый автобус посадили на 5 пионеров больше, чем предполагалось. Сколько автобусов было заказано?»

Разумеется, задача была решена мгновенно.

Вторым этапом решения изобретательских задач является определение *ориентира*, который представляет собой *«Идеальную машину»*.

Понятие об идеальной машине – одно из фундаментальных для всей методики изобретательства. Идеальная машина – это условный эталон, об-

ладающий максимально высокими показателями работы при меньших сопутствующих элементах.

Если, например, это дождеватель, то, скорее всего, труба, которая сама (без трактора и поддерживающей фермы) передвигалась бы над полем. Автомобиль – тем *«идеальнее»*, чем меньше доля его массы к массе перевозимого груза.

Насколько важно устремить конструкцию машины к *«идеальной»* может показать пример из воспоминаний академика А.Н. Крылова, нашего знаменитого кораблестроителя, одно время президента академии наук.

В 1924 г. ученый работал в составе советско-французской комиссии, осматривавшей в гавани Бизерты русские военные корабли, уведенные туда Врангелем. Там бок о бок с русским эсминцем стоял эсминец французский – примерно того же возраста и размеров. Разница в боевой мощи кораблей была настолько велика, что адмирал Бун – представитель комиссии – не выдержал и воскликнул: «У вас пушки, а у нас пукалки! Каким образом вы достигли такой разницы в вооружении эсминцев?» Крылов ответил так: «Взгляните, адмирал, на палубу: кроме стрингера, в котором вся крепость, все остальное, представляющее собой как бы крышу, проржавело почти насквозь, трубы, их кожухи, рубки и т.п. – все изношено. Посмотрите на ваш эсминец, на нем все как новенькое, правда, наш эсминец шесть лет без ухода и без окраски, но не в этом главная суть. Ваш миноносец построен из обыкновенной стали и на нем взято расчетное напряжение в $7 \text{ кг на } 1 \text{ мм}^2$. Как будто бы это был коммерческий корабль, который должен служить не менее 24 лет. Наш построен целиком из стали высокого сопротивления, напряжение допущено в 12 кг и больше – местами до 23 кг/мм^2 . Миноносец строится на 10...12 лет, ибо за это время он успевает настолько устареть, что не представляет более истинной боевой силы. Весь выигрыш в весе корпуса и употреблен на усиление боевого вооружения, и вы видите, что в артиллерийском бою наш миноносец разнесет вдребезги, по меньшей мере, четыре, т.е. дивизию ваших, раньше, чем они приблизятся на дальность выстрела своих пукалок». «Как это просто!» – сказал адмирал. [60].

Разумеется, материалоемкость, энергоемкость не всегда могут являться критериями *«идеальности»*.

Если, допустим, от работы пунктирной сеялки может зависеть судьба технологии возделывания пропашных культур, то идеальной будет сеялка, обеспечивающая точную раскладку семян в рядке.

При оценке бытовой электронной аппаратуры идеальными окажутся приборы с меньшим уровнем помех, а компьютеры – с большей памятью и быстроедействием.

Идеальная машина играет роль маяка, указывающего, куда надо идти. Планомерный поиск вокруг этого направления упорядочивает мышление, повышает его продуктивность.

Третьим этапом создания изобретения обычно считают вскрытие *«технического противоречия»*.

При создании очень многих машин конструктор сталкивается с совершенно противоречивыми требованиями.

Если для примера взять всем знакомый легковой автомобиль, он может быть надежным и комфортным, – но тогда он окажется дорогим и недоступным для покупателей. Можно его сделать дешевым (допустим, снизив требования к точности изготовления, используя низкосортную сталь и другие материалы, отказавшись от качественной термообработки и упрочняющих покрытий и т.д.), но тогда он будет ненадежным и некомфортным.

Конструируя так называемый «народный автомобиль», приходится искать компромисс между этими показателями.

Трудно сказать почему, но практически всегда при встрече с противоречивым требованием в той или иной задаче, студенты, прежде всего, предлагают искать «золотую середину» или оптимальные параметры (может быть от переизбытка оптимизационных задач в курсах математики, экономики?).

В качестве яркого примера технического противоречия часто приводят историю создания винтовки.

Когда встал вопрос об усилении огневых свойств, то потребовалось укорачивание ствола (в какие-то времена зарядение проводилось со ствола и при коротком стволе – облегчалось), а для усиления «штыковых» свойств ствол нужно было, наоборот, удлинить.

Так вот и даже эту задачу студенты, уже знакомые с современным оружием и в жизни не видевшие вариант зарядения со ствола, пытаются часто решить путем поиска компромиссной длины ствола.

Но ведь изобретение состояло в том, что заряжать винтовку стали с казенной части!

Иначе говоря, задача тогда переходит в разряд изобретательских, когда необходимым условием ее решения является устранение технического противоречия, да еще при дополнительном условии – *выиграть и ничего не проиграть!*

Четвертым этапом создания изобретения является выбор способа преодоления технического противоречия.

Анализ многих десятков тысяч изобретений, проведенных при разработке ТРИЗ, показал, что, несмотря на бесчисленное множество изобретательских задач, содержащиеся в них технические противоречия часто повторяются. А поскольку есть *типичные* противоречия, то должны быть и типичные приемы их устранения. В творческой мастерской изобретателя эти приемы играют роль набора инструментов.

Типовым приемам даны короткие и образные названия, хорошо отражающие их сущность. Вот некоторые из них: «*обратить вред в пользу*», принцип «*наоборот*», принцип «*заранее подложенной подушки*», принципы «*асимметрии*», «*дробления*», «*антивеса*», «*самообслуживания*», «*матрешки*», «*копирования*», «*аналогии*» и т.д.

Всего таких приемов уже многие десятки, и со временем их количество увеличивается.

Вот некоторые примеры.

«*Обратить вред в пользу*». Еще в 20-х годах известный ученый П.Вологдин пытался использовать токи высокой частоты для нагрева ме-

талла. Однако металл прогревался лишь снаружи. «Загнать» тепло вглубь заготовки не удалось. Впоследствии этот *«отрицательный»* эффект использовался для высокочастотной поверхностной закалки стальных деталей.

Принцип *«Наоборот»*. При отливке деталей обычно форма остается неподвижной, а металл заливают сверху. Но трудности возникают при отливке крупногабаритных деталей. Если высота струи более пятнадцати сантиметров, то металл «сгорит» или пропитается газами. Если подавать металл снизу, то затвердевающие порции не дадут залить форму. Изобретатель подал металл по трубкам на дно формы, а форма по мере заполнения опускалась вниз, поэтому каждая порция металла подавалась туда, где она должна застыть.

Принцип *«Заранее предложенной подушки»*. Примером может быть привод на все четыре колеса у трактора или автомобиля или другие примеры.

Иногда конструкции, выполненные из досок, приходится разбирать (например, многочисленные опалубки). В этом случае выемка гвоздей составляет определенные затруднения и при захвате шляпки, и при вытягивании длинных гвоздей даже молотком-гвоздодером. Решением задачи мог бы стать гвоздь с двумя шляпками, когда нижняя удерживала бы рабочую конструкцию, а за верхнюю гвоздь легко зацепить и вытащить. Верный спутник гвоздя – молоток, также мог быть изменен. На противоположной от бойка стороне он мог бы иметь несколько прорезей (для захвата гвоздевых шляпок), расположенных на разных расстояниях от рукоятки (чтобы не искать подкладок под молоток при извлечении длинных гвоздей).

В баках опрыскивателей размещают гидромешалки. В некоторых туристических фирмах горнолыжников снабжают «маячками», позволяющими отыскать человека, засыпанного снегом.

Принцип *«Асимметрии»*. Когда-то автомобильные фары были одинаковы. Но требования к свету правой и левой – разные. Одна должна хорошо и желательно далеко освещать обочину, а другая часто «слепит» водителя встречного потока. Конструкцию фар изменили, они сейчас светят по-разному (что стало головной болью владельцев праворульных «японок»).

Принцип *«Дробления»*. Разделение камеры автомобиля на 15...20 отсеков делает ее практически нечувствительной к проколам, а корпуса корабля на ряд секций – непотопляемым.

Разделение семян на фракции позволяет применить различные режимы сушки, скажем, для семенного, продовольственного и фуражного зерна.

Принцип *«Антивеса»*. Современные тракторы часто не могут развивать достаточного тягового усилия из-за плохого сцепления колес с почвой. Для устранения недостатка на тракторах устанавливают гидродогружатели сцепного веса.

Принцип *самообслуживания* – самозатачивающиеся лезвия почвообрабатывающих, уборочных машин, самонагружающиеся и (или) разгружающиеся транспортные средства.

Принцип матрешки – вот как об этом принципе, использованном для получения давления в несколько миллионов атмосфер, рассказывает академик Верещагин:

«На внешнюю камеру, сделанную из стали, будет давить 50 тысяч тонн нового пресса, строительство которого мы ведем.

Следующая камера из сверхпрочной стали имеет меньшую площадь внешней поверхности, а поэтому по закону мультипликации давление в ней выше. В нее поместим камеру из сверхтвердого сплава, затем из алмазного сплава, а внутреннюю соберем из алмазов. Во внутренней камере получим давление примерно в 2,5 млн. атмосфер – столько, сколько просят у нас теоретики».

Принцип «*Копирования*» или «*аналогий*». Интересный пример использования аналогий приводит известный конструктор авиационных двигателей, академик А.А.Микулин.

В начале XX века самолеты достаточно часто падали из-за остановки двигателей. Характерной причиной этого был отказ магнето. Материалы и технология изоляционных покрытий были еще примитивными (когда протягивали телеграфные провода через Атлантический океан из Америки в Европу, то их просто красили, а первая линия связи работала лишь несколько минут).

В магнето еще и высокое напряжение... В те времена увлечение молодежи авиацией было повсеместным, и гимназисты, а среди них и Микулин, были частыми гостями авиаторов на Ходынском поле, так что хорошо знали проблемы летчиков.

Как-то Микулин шел по улице и увидел мужика с подбитым левым глазом. Эврика! Он бросился бежать в гостиницу к знаменитому летчику (авиатору, как тогда говорили) С.И. Уточкину и между ними состоялся следующий разговор:

«У людей два глаза, подбейте левый – правый глаз будет смотреть». «Я никому не собираюсь подбивать глаз», - заявил Уточкин.

«На Вашей машине одно магнето, поставьте два!» – «О! – воскликнул Уточкин – За каждый благополучный показательный полет я буду платить тебе 10 рублей»...

Конечно, в ограниченных рамках учебного пособия невозможно перечислить даже основные «инструментарии» изобретателя. Со многими из них можно ознакомиться в литературе [62] или в Интернете на сайтах ТРИЗ.

Пятым этапом решения изобретательской задачи является выбор нужного принципа. Начинающие изобретатели обычно последовательно примеряют существующие принципы к своей задаче или пользуются таблицами ТРИЗ, сужающими поле поиска. Сейчас для этого можно применить уже называвшийся программный продукт «*Изобретающая машина*».

Если у задачи появилось несколько решений, то следующим, шестым этапом станет выбор того, который будет лучше соответствовать идеальности конечного результата (ИКР). При этом необходимо обратить внимание на возможные сложности, которые могут возникнуть при внедрении изоб-

ретения в производство и на возможность появления нежелательных эффектов.

Пример работы с изобретающей машиной при создании аппарата «воздушных» зерен, приведенный в Интернете на сайте ТРИЗ, представлен в приложении 1.

Еще одним из современных эвристических методов совершенствования технических систем и их элементов стал анализ, направленный на оптимизацию соотношения между их *потребительскими свойствами* и затратами на достижение этих свойств.

Функционально-стоимостной анализ (ФСА)

Метод разработал конструктор Пермского телефонного завода Ю.М. Соболев, но организационно в широкую практику введен инженером электротехнической компании «General Electric» Лоуренсом Д. Малиссом в 1947...1949 гг.

Необходимостью метода стала острая нехватка некоторых видов стратегического сырья и средств на предприятиях после опустошительной мировой войны. Инженеры были вынуждены искать замену дефицитным материалам и способы снижения стоимости производства, и приспособлять к ним существующие технические условия, регламенты и т.д. Проведенный впоследствии анализ данных предложенных решений показал, что они благополучно повлияли на стоимость изделий, причем в ряде случаев это приводило даже к получению «сверхэффекта» – улучшалось качество изделий, повышалась их надежность. Возникла идея распространить новый подход на все изделия и организовать работу, основанную на снижении издержек производства.

Группа, созданная Л.Д. Малиссом, проанализировала и изменила конструкцию сотен изделий, в результате чего издержки на их изготовление снизились в среднем на 25 процентов без ущерба качеству.

Постепенно сфера использования метода расширялась, им заинтересовались и государственные организации. Через очень короткий срок весь комплекс предприятий, работающий на Министерство обороны, а вслед за ними и некоторые фирмы-субподрядчики стали использовать анализ стоимости.

С 1976...1977 гг. задачи ФСА были расширены и ориентированы на минимизацию издержек за жизненный цикл изделия, включая затраты на разработку, производство, эксплуатацию, обслуживание и ремонт. Design to Life Cycle Cost (проектирование согласно заданной стоимости).

Суть метода ФСА состоит в поэлементной отработке конструкции. Каждый элемент рекомендуется «разделить» на части по принципу функционирования – на основные и вспомогательные.

Анализ «стоимости», связанной с выполнением основных и вспомогательных функций, позволяет определить, где «спрятаны» излишние затраты. Далее следует найти новые технические решения, позволяющие снизить стоимость неэффективных элементов.

В одной из публикаций журнала ИР (Изобретатель и рационализа-

тор), посвященной ФСА, приводился простой пример из практики того же Пермского завода, где этот метод был применен впервые.

В одной из конструкций телефонного аппарата оказалась крепежная деталь в виде брусочка с двумя резьбовыми отверстиями (рис. 8.4).



Рис. 8.4. Конструкция крепежной пластины до и после анализа с использованием ФСА

Деталь выполняла роль двух гаек, (основная функция) и удерживала эти гайки на определенном расстоянии друг от друга, или позволяла обойтись без гаечных ключей при сборке (может быть из-за сложного доступа к возможным гайкам), т.е. обладала *дополнительными, вспомогательными функциями*.

Анализ стоимости обнаружил поразительное несоответствие стоимости основной и вспомогательной функций. Деталь оказалась дороже двух гаек в несколько раз. Было предложено изменить конструкцию. К тонкой отштампованной пластинке с двумя отверстиями контактной сваркой прикрепили две обычных гайки, что существенно, на 70 процентов снизило стоимость детали.

При функционально-стоимостном анализе требуется объективная и доверительная оценка стоимости функций.

Нужно учитывать, что на стоимость функций влияют:

- стоимость реализации *принципа действия*: энергетические затраты, доступность и стоимость материалов, последствия побочных эффектов и т.д.
- параметрические характеристики: материалоемкость деталей, их размеры, качество поверхностей, точность изготовления, сборки и т.д.

Следует помнить: решение задачи методом ФСА конкретно, и зависит от условий производства и применения исследуемого изделия. Например, на стоимость изделия влияют отличия в цене на электроэнергию и другие энергоносители в разных районах, имеющееся на данном заводе оборудование.

Опыт использования ФСА показал, что при анализе важнее искать *ненужные и неэффективные работающие* части изделия и *отказываться* от них, а не снижать их стоимость.

К настоящему времени сложился определенный порядок операций (этапов) эффективного проведения ФСА [63]:

- планирование и подготовка: уточняется объект и цели (минимизация стоимости или повышение качества выполнения функций при сохранении прежней стоимости), формируется рабочая группа;
- информационный: сбор сведений по условиям применения и изготовления изделия, по требованиям к его качеству, возможным проектным решениям, недостаткам;

- аналитический: составление функциональной структуры, определение стоимости и ценности отдельных функций, выбор направления работы;
- поисковый: улучшение технических и технологических решений с привлечением эвристических или научных методов. Выбор лучших вариантов;
- рекомендательный: оформление протоколов и рекомендаций по реализации применения.

Интересно отметить, что на *поисковом* этапе работы в ФСА стали использоваться методы ТРИЗа, позволяющие быстрее найти эффективные решения.

Поучительным примером использования методов ФСА-ТРИЗа в сельскохозяйственном машиностроении может быть работа, направленная на совершенствование очесывающего зерноуборочного устройства, проведенная в Белоруссии. Анализ очесывающего устройства НПО «Белсельхозмеханизация» показал, что из конструкции может быть удален *битер*, который служил для съема колосьев с зубьев очесывателя. Эту функцию переложили на измененную конструкцию корпуса. В результате работы удалось на 19% снизить вес, существенно уменьшить габариты жатки и снизить потери до уровня агротребований -1,5...3%.

Поскольку статья прекрасно раскрывает возможности и методику соединения ФСА и ТРИЗ, то ее основные положения использованы в приложении 2.

В заключение следует еще раз обратить внимание на необходимость привлечения студентов и магистрантов, аспирантов, специалистов к участию в творческой изобретательской работе.

Опыт Советского Союза по развитию образования, науки и техники показал, что за несколько десятилетий из почти неграмотной страны могла возникнуть великая держава, достигшая передовых позиций в науке.

В лучшие годы технического творчества в СССР выдавалось до 220 тыс. авторских свидетельств на изобретение в год (из них 80% – российских). К сегодняшнему дню из-за отвлечения творческой молодежи к другим, более прибыльным сферам деятельности, старения изобретательского корпуса, невостребованности многих изобретений, несвоевременности введения пошлин в стране регистрируется не более 30 тыс. патентов.

Нельзя забывать, что XXI – век знаний, инноваций, работы умов. Это еще и эра электронной экономики. Если традиционная экономика опирается на капитал, землю и труд, то электронная – прежде всего на интеллектуальную собственность.

Управление интеллектуальной собственности должно создать условия для всемерного развития научных исследований, разработок и изобретательской деятельности, соответствующей потребностям современного производства.

9.0. Внедрение в производство

В 1851 году в Лондоне состоялось мероприятие с весьма претенциозным названием «Великая выставка изделий промышленности всех наций».

Основную награду выставки – золотую медаль – получил американский изобретатель и предприниматель Сайрус Маккормик. При этом указывалось, что он сделал для развития сельского хозяйства больше, чем любой другой за всю историю.

Сайрус Маккормик представил на выставку свою жатку (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Жатка Маккормика

Когда же комиссия присяжных поверенных приступила к детальному анализу новшеств жатки, то оказалось, что целый ряд ее принципиальных элементов уже был известен ранее.

Это и не удивительно. Большая трудоемкость и тяжесть уборочных работ (страда), безусловно, привлекали многие умы к попыткам облегчить, механизировать эти операции. Еще Плинием Старшим (77 г. н.э.) описана так называемая Галльская жатвенная машина, основным элементом которой был гребень, установленный впереди тележки, срывающий колосья с растений. Первым режущим аппаратом считают устройство, предложенное английским фермером Бойсом (1799 г.), представляющее собой горизонтальный диск с шестью насаженными на него ножами.

В 1810 г. русский изобретатель В.А. Левшин построил жатвенную машину с подвижными серпами, которая оказалась неудачной.

Попытки создания надежного режущего аппарата для обламывания колосьев по типу галльского или копирования ручных приемов кошения с помощью серпа или косы тоже не увенчались успехом.

Удачным получился режущий аппарат, работающий по принципу ножниц, предложенный Р. Мойером, взявшим на него патент в Англии в 1800г.

В 1822 г. появилась первая жатка с возвратно-поступательным дви-

жением ножа. Эта машина была построена английским сельским учителем Генри Оглем и механиком Брауном. Режущий аппарат состоял из бруса с закрепленными на нем зубьями и пилообразный нож, приводимый в движение от волнистого торца обода колеса.

Впервые введено мотовило и платформа для накопления скошенной массы.

В 1826 г. шотландским священнослужителем Патриком Беллем создана наиболее совершенная европейская жатка того времени. В ней использован двухножевой режущий аппарат из треугольных сегментов, мотовило и транспортер, отводящий срезанную массу в валок. Машина оказалась работоспособной и работала в Англии с 1832 по 1853 гг.

В 1831 г. испытал свою жатку и Сайрус Маккормик. Будущий «король жаток» – как впоследствии его называли, родился в 1809 г. на семейной ферме в графстве Рокбридж, штат Вирджиния.

Его отец Роберт в течение 28 лет работал над созданием жатвенной машины. Его машина срезала растения с помощью кос. И хотя в результате многолетней работы удалось создать машину, срезавшую пшеницу, но при этом она приносила большие убытки, потому, что много зерен выбивалось из колоса.

Участвуя в опытах отца, Сайрус загорелся желанием изобрести механическую жатку, и прежде всего ввел режущий аппарат, весьма напоминающий современные: режущие сегменты были закреплены на подвижной полосе и скользили в прорезях неподвижных пальцев.

Начальный этап испытаний оказался неудачным. Поле было ухабистым, почва переувлажненной, так что жатка вязла в мягкой земле, порой выкорчевывала растения, путала солому, засорялась и нуждалась в частых остановках, вызывавших ухмылки негров-рабов, видевших в ней неудачного конкурента.

Но один из фермеров пригласил Сайруса на свое поле, которое было в лучшем состоянии, и жатка сработала на нем за шестерых жнецов, работающих вручную.

Внеся еще ряд дополнений, Сайрус Маккормик запатентовал свою машину в 1834 г., хотя годом ранее, т.е. в 1833 г. аналогичный режущий аппарат запатентовал Обед Хасси (Гуссей).

Дата полевых испытаний 1831г. использовалась позднее, чтобы подержать притязания Маккормика в первенстве создания успешной жатки.

На этом практически заканчивается «изобретательский этап» жизни Маккормика. Небольшой исторический экскурс, приведенный выше, показывает, что он является лишь одним из многих изобретателей, прошедший через многолетние испытания так называемых «проб» и «ошибок», добившийся определенных успехов и вынужденный отстаивать приоритет от обвинений в плагиате.

К сожалению, история изобретений на этом часто заканчивается, и лишь немногие из авторов находят силы для внедрения своих достижений в производство.

В этом направлении последующая деятельность Сайруса Маккорми-

ка представляет интерес не только как пример упорства в достижении цели, но и как создателя нового направления в предпринимательстве, связанного с созданием маркетинга и осознанием его центральной функцией промышленного предприятия.

После испытаний 1831 г. Сайрус Маккормик вместе с семьей пытается организовать производство жаток в своей кузнечной мастерской, но во времена дешевой рабской силы покупателей не оказалось.

В 1837 г. он окончательно разорился и потерял все свое имущество, кроме жатки. Ее не стали конфисковывать, так как было понятно, что ее невозможно продать, а значит оплатить ею долг будет невозможно, Сайрус не опуская руки и устраивал показы своей жатки там, где находил возможным.

Только через 9 лет он нашел покупателя, слухи о новой машине стали распространяться среди фермеров и начали поступать заказы.

К концу 1846 г. он продал около 100 машин, и, скопив очень небольшой капитал, переехал в Чикаго. В те времена это был маленький городок, в котором отсутствовала даже железная дорога, но именно там началось активное развитие фермерства, возник рынок пшеницы и инструментов.

Сайрус рассчитывал на это и не прогадал.

Он строит небольшую фабрику, и основывают компанию по продаже сельскохозяйственной техники, которая со временем станет известной как McCormick Harvesting Machine Company, которая позже (в 1902 г.) стала частью **International Harvester**. При совершенствовании бизнеса он стал вводить такие новаторские приемы, как обеспечение гарантии на свой товар, использование оплаты в рассрочку, издание рекламных лозунгов, что в конечном итоге помогло развитию дела, и через 20 лет после испытания первой жатки (к моменту выставки в Лондоне) было продано 3 тысячи машин.

После Лондонской выставки Маккормик успешно участвует на выставках в Германии, Франции, России и даже в Новой Зеландии, где проявляет себя как самый активный популяризатор машинной уборки зерновых культур.

Интересно, что испытания жатки в России нашли отражение даже в классической русской литературе. Так в романе «Анна Каренина» героиня, якобы побывавшая на демонстрационных заездах, показывала изящными пальчиками знакомым, как работает режущий аппарат: «Совершенно как ножницы. Доска и много маленьких ножниц. Вот этак...».

После российских испытаний Сайрус Маккормик вместе с братьями организуют в Люберцах мастерскую по сборке жаток, которая со временем переросла в известный Люберецкий завод сельскохозяйственной техники, ставший на многие годы одним из основных поставщиков уборочных машин в стране.

Таким образом, компания стала выходить на мировой уровень.

В 1871 г. фабрика компании была полностью разрушена. В то время Сайрусу исполнилось уже 62 года, и он был миллионером, но, говорят, что первым вопросом после случившегося был: «С чего начнем дальнейшую работу?».

К концу жизни (1884 г.) Сайрус стал самым богатым человеком Ил-

линойса. Его состояние насчитывало более 10 миллионов долларов, и он завещал его своему сыну. Сайрус Маккормик–второй продолжил дело отца, и в 1902 году фирма по производству жаток стала ведущим предприятием в составе треста «Интернэшнл Харвестер».

Представители семьи были представителями новой компании первые 40 лет ее существования и вывели ее в число крупнейших мировых производителей сельскохозяйственной техники.

Сайрус Маккормик-старший в свое время был избран членом-корреспондентом Французской академии наук, представлен в Зале Славы достижений американского предпринимательства. Его именем названы город и округ в Южной Каролине.

Основным достижением его жизни наши современники считают осознание значимости центральной функции маркетинга в вопросах деятельности промышленных предприятий и, в частности, при внедрении новой техники в производство и разработку практических приемов использования.

Термин «маркетинг», ставший столь популярным в нашей стране в последние годы, происходит от английского слова «marketihg» – создание рынка, рыноковедение. Этому термину в русском языке не нашли подходящего эквивалента, поэтому он и остался непереуведенным.

У многих это понятие ассоциируется с такими направлениями деятельности, как сбыт и реклама. И это не случайно, поскольку даже в энциклопедии маркетинг трактуется как экономическая деятельность, состоящая в продвижении товаров и услуг от производителя к потребителю.

Но с изменением экономической среды, под влиянием изменений общественного воспроизводства, с усложнением связей в экономике, обострением конкурентной борьбы наполнение маркетинговой деятельности менялось.

На первом этапе это «сбытовой» маркетинг [64].

Этот этап отражает условия промышленной революции конца 19 и начала 20 века, когда предложение товаров стало опережать спрос. В это время в нескольких американских университетах (Гарвардском, Иллинойском и Мичиганском) создали и начали читать самостоятельный курс маркетинга, выделив его из общей экономической теории предпринимательства – экономикса. Новый курс содержал характеристику приемов сбытовой деятельности промышленных фирм, операций оптовых и розничных торговцев. Особое внимание в нем было уделено проблемам организации рекламных компаний. В целом в это время считалось, что маркетинг охватывает любую торговую деятельность, ведущую к получению товаров и услуг потребителями. Следующий этап эволюции – «управленческий маркетинг» (50...70 годы прошлого столетия). В это время резко обострилась конкуренция между крупными, часто интернациональными монополистическими союзами.

Пришло понимание, что целесообразнее и выгоднее инвестировать средства в создание и производство тех товаров, которые будут пользоваться спросом на рынке, чем выпускать то, что с трудом удастся сбыть. На

этом этапе эволюции маркетинг начали трактовать как концепцию управления, ориентированную на меняющиеся условия рынка, на существующий на нем спрос на товары и услуги.

Смысл маркетинга как концепции управления состоит в стремлении удовлетворить существующие потребности. Маркетинговый подход большинства успешно действующих фирм предполагает ориентацию производителя на потребителя как средства повышения эффективности сбыта, использование ресурсов и увеличение прибыли.

Третий этап эволюции – «комплексный системный маркетинг».

Со второй половины 70-х годов маркетинг превращается, по существу, в доктрину современного бизнеса, его философию, основное средство коммуникативности между фирмой и окружающей средой. Он становится комплексной системной деятельностью. В этот период к маркетингу стали относиться как к элементу корпоративного стратегического управления, который, пронизывая всю деятельность фирмы, направлен на ее адаптацию к внешней экономической, социальной и политической среде.

Маркетинговая деятельность превращается из односторонней связи предприятия с рынками сбыта в замкнутый цикл, своеобразный диалог фирмы с покупателями. Все большее внимание уделяется исследованию и моделированию поведения потребителя на рынке.

Объективной задачей современного маркетинга является необходимость преодоления противоречий между предприятием и внешней окружающей средой, в том числе между производителем и потребителем товаров и услуг.

Как показал опыт Сайруса Маккормика, в задачу маркетинга входит и формирование новых потребностей потребителей. Внедрение научных разработок в производство может быть осуществлено многими методами. Часто выбор метода рекомендуют начать с анализа ответа на вопрос: «Зачем мне все это нужно?» Видимо, осознание цели действительно необходимо, но исторический опыт показывает, что крупного успеха добивается не тот, кто ставит перед собой этот вопрос (приводящий чаще всего к так называемой «пофиговой» жизненной позиции), а тот, кто не может не сделать то, за что взялся однажды и даже не из-за денег, а из желания сделать для людей что-то хорошее, необходимое на данный момент или в будущем.

Внедрение своими силами, конечно, возможно, особенно для сравнительно простых разработок, но и то для этого нужно бывает пройти достаточно тернистый путь, аналогичный примеру с С.Маккормиком. Более перспективным может оказаться путь использования возможностей современного маркетинга. Дело в том, что в настоящее время наблюдается сокращение средней продолжительности жизненного цикла товаров, поэтому производители, заботящиеся о будущем своих фирм, *вынуждены* расходовать средства на создание новых товаров. Новый продукт подразумевает любое нововведение или изменение существующего товара, *которое потребитель считает значимым*. Разумеется, степень новизны может быть разной и рассматриваться на нескольких уровнях. *Инновационными* для предприятия будут те товары, которые им никогда не выпускались.

Любые новинки требуют от производителя расходов на разработку и выведения товара на рынок. В связи с этим к настоящему времени разработан *маркетинговый инструментарий* и последовательность этапов их освоения. Если разработчику удастся заинтересовать маркетинговые службы тех или иных предприятий или фирм, то могут быть запущены весьма мощные, современные службы сбора и анализа информации о потребностях рынка, возможной реакции конкурентов, рисков и преимуществ, связанных с освоением новинок.

Заинтересованность предприятия может быть вызвана не только традиционными расчетами экономической эффективности, повышения рентабельности или снижения расходов на производство, но и улучшения целого ряда потребительских свойств, надежности, снижения зависимости от дефицитных на сегодня или в будущем материалов, энергоносителей, тенденциями развития как изделий, так и общества.

Особую значимость могут представлять оригинальность и высокая конкурентоспособность продукта, подтвержденная соответствующими патентами. В конечном счете, это все, что способствует росту имиджа производителя и повышению доверия к нему со стороны потребителей.

Если анализ маркетинговой информации окажется положительным, то предприниматель или фирма могут допустить в действие последующие инструментарии освоения новых товаров или услуг. К ним относится та или иная форма финансирования опытно-конструкторских работ, предпродажной подготовки, организация эффективной рекламы. При выборе формы рекламы анализируют эффективность предыдущих рекламных мероприятий, рекламной практики конкурентов.

Реклама может быть печатной: рекламно-каталожные издания, каталоги, проспекты, плакаты, листовки, поздравительные открытки, календари, дневники, записные книжки и др. Эффективной может оказаться реклама, использующая средства массовой информации (телевидение, радио, газеты, журналы). Особенно убедительной может оказаться реклама, связанная с привлечением специалистов на выставках, научно-практических конференциях, ярмарках, демонстрационных испытаниях в рамках «Дней поля», «Золотая осень», при осмотрах полевых опытов научно-исследовательских или учебных организаций. Большие возможности, с точки зрения объема (полноты) информации и адресной направленности, имеет реклама через систему Интернета.

Маркетинговая служба может предложить *различные формы продаж*, например, розничную или оптовую, за наличный или безналичный расчет, продажу в кредит, персональную или групповую при заключении контрактов на реализацию во время ярмарок, торговых совещаний и др.

В настоящее время уже широко используется продажа по почтовым каталогам, через Интернет или через торговых представителей.

Для обслуживания в удаленных от производителя районах торговлю организуют через *коммивояжеров* – сотрудников, которым поручается поиск клиентов и ведение работы с ними.

В качестве партнеров по сбыту могут принять участие следующие субъекты.

Агент – юридически самостоятельное лицо, которое может вести дела сразу нескольких предприятий, получая вознаграждение в зависимости от объема сбыта или по договорному тарифу. Свою деятельность планирует самостоятельно, при этом может заключать сделки от имени и за счет «доверившегося» ему хозяйственного субъекта. Агенты могут представлять интересы как продавца, так и покупателя.

Брокер – юридически самостоятельное лицо, которому поручаются ограниченные по объему сделки. Являясь посредником при заключении сделки, брокер не имеет долгосрочных договорных отношений ни с одной из сторон договора. Вознаграждение брокера формируется из процента от стоимости объема сделки или заранее оговоренной суммы за единицу проданного товара.

Дистрибьютор – юридически самостоятельное лицо, заключающее договор о поставке от своего имени. Комиссионер обеспечивает сохранность товара. Вознаграждением выступают проценты от суммы проведенной операции или разница между ценой поставщика и ценой реализации.

Маклер – юридически самостоятельное лицо, представляющее интересы обеих сторон, в функции которого входит поиск возможностей заключения договоров.

Различные формы продаж ставят вопросы о хранении материальных продуктов, развитии складского хозяйства и организации транспортного обслуживания.

Ценовая политика

Одним из основных воздействий на потребителя со стороны фирмы является *ценовой механизм*. Этот механизм включает, с одной стороны, сами цены, их виды, структуру, величину, динамику изменения, а с другой стороны, – сам процесс ценообразования с его правилами установления, формирования новых и изменения действующих цен.

Одно перечисление видов цен может убедить в значимости этого инструмента и возможности манипулирования с его помощью продвижением товара на рынке.

Цены могут быть: закупочными, преysкурantными, сметными, оптовыми, твердыми, подвижными, скользящими, едиными, поясными, региональными, свободными, регулируемые, отпускными, публикуемыми, справочными, аукционных, расчетными, лимитными, проектными, розничными, текущими, средними, сопоставимыми, экспортными, импортными, биржевыми котировками.

Разновидностью цен являются тарифы: на тепло- и энергопотребление, бытового и коммунального обслуживания, транспортные тарифы.

Помимо возможности варьирования видами цен в маркетинговой практике широко используют систему скидок, например, за большой объем приобретаемого товара, за внесезонную покупку, за ускорение оплаты, для поощрения продаж нового товара, на пробные партии и заказы, при ком-

плексной закупке товаров, для «верных» или престижных покупателей, за уплату наличными и т.п.

Могут быть сложные скидки, состоящие из нескольких скидок одновременно.

Во всяком случае, разумная ценовая политика может содействовать внедрению новых товаров, внедряемых в производство.

Изменение продолжительности жизненного цикла товаров

Иногда внедрению нового препятствует насыщенность рынка устаревающими машинами, например, жизненный цикл которых еще не закончен. Инструментарий маркетинга позволяет и в этом случае решить проблему за счет искусственного регулирования продолжительностью жизненного цикла, путем, допустим, перезачета, недоиспользованной цены при приобретении новинок.

Разработка механизма гарантий качества

Существенным инструментом успешности сбыта товаров является организация системы гарантийных обязательств и сети пунктов обслуживания, диагностики и ремонта.

Таким образом, возможности современных маркетинговых служб могут способствовать внедрению новинок в производство и успешному продвижению их к потребителю.

Гораздо сложнее организовать внедрение в производство научных разработок, находящихся на самом начале жизненного цикла (идеи, расчеты, результаты лабораторных исследований), т.е. тогда, когда продавать, собственно, еще нечего.

В принципе, существует система поддержки исследований на этом уровне, главным образом в виде грантов. Как правило, о проводимых конкурсах сообщают в журналах, и необходимо следить за объявлениями и участвовать в них.

Идеальным было бы передавать такие разработки внедренческим фирмам, вроде «силиконовой долины» в США или создаваемой в нашей стране «Сколково». В рамках действующей в России общественной палаты уже создана комиссия по отбору наиболее значимых разработок, но, к сожалению, их количество вряд ли окажется большим.

В некоторых вузах успешно используют для внедрения, в частности, для изготовления моделей, опытных образцов учебно-производственные мастерские (С-Петербургский ГАУ, Ижевская ГСХА). Их опыт подтверждает высокую эффективность как для научной, так и учебно-исследовательской работы студентов и аспирантов.

На инженерном факультете Пермской ГСХА накоплен некоторый опыт работы аспирантов и студентов в научно-исследовательской лаборатории механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции. В этой лаборатории студенты вместе с сотрудниками занимаются проектированием, модернизацией существующих зерноочистительных комплексов, а в период производственных практик внедряют свои разработки в производство.

В Пермском крае работают организации по реконструкции животноводческих ферм. Они также привлекают студентов для внедрения разработок в производство.

Успешным в вопросах внедрения в производство оказалось сотрудничество инженерного факультета Пермской ГСХА с Институтом механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук.

В отделе биополимеров проводятся исследования по экструдированию ряда сельскохозяйственных культур с целью повышения качества кормов, пищевых продуктов и биотоплива, в которых студенты (как правило, дипломники) и аспиранты выполняют работы, а затем участвуют во внедрении в производство.

Используется и такая форма внедрения, как выполнение курсовых и дипломных проектов по заявкам сельскохозяйственных предприятий. Некоторые из этих работ проводятся на хоздоговорной основе.

Участие во внедренческих работах любой формы оказывает большое влияние не только на профессиональную подготовку специалистов, но и на формирование у них активной жизненной позиции.

Заключение

Опыт предшествующих научных исследований в области агроинженерных наук отразился в сложившейся последовательности выполнения определенных этапов работы, составляющих их структуру.

Хронологическая последовательность, составляющая эту структуру, способствует углубленному изучению рассматриваемых вопросов, обеспечивает определенную гарантию успешной работы.

Материал, изложенный в учебном пособии, представляет собой некоторый инструментальный начинающего научного работника, а модели - это примеры того, что этим инструментом можно сделать.

Конечно, наивно думать, что показав ученику (в самом широком смысле этого слова) инструмент, можно рассчитывать на его профессионализм. Освоение каждым настоящим и будущим специалистом сведений, содержащихся в предлагаемом учебном пособии, дадут желаемый высокий эффект только при условии, если теоретическая работа будет подкреплена практикой, практическим участием студентов в научно-исследовательской, конструкторской, проектной и другой творческой работе.

В настоящее время многие вузы стремятся организовать свою научно-исследовательскую работу так, чтобы каждый будущий специалист нашел в ней свое место. Для этого созданы кружки научного студенческого общества, поощряется выполнение курсовых и дипломных проектов с элементами научных исследований. Студенты привлекаются к разработке проектов средств механизации для конкретных технологий и хозяйств и внедрению этих проектов в период производственных практик.

К сожалению, наличие возможностей еще не означает их использования по целому ряду причин. К объективным причинам следует отнести немислимо ограниченное учебное время на этот предмет, занятость студентов (большинству которых приходится в период учебы работать, чтобы обеспечить свое существование), высокую загрузку преподавателей учебной работой (когда совершенно игнорируется предупреждение В.А. Сухомлинского о том, что каждая школа живет лишь свободным временем своего учителя).

Немаловажным «тормозом» является недофинансирование как учебных и научных организаций, так и сельскохозяйственных предприятий.

Некоторые способы преодоления указанных затруднений состоят в следующем.

Курс «Основы научных исследований» в учебном плане предшествует дисциплинам «Сельскохозяйственные машины» и «Испытания сельскохозяйственной техники». Это дает возможность в данных спецкурсах закрепить изучение моделей технологических процессов в лабораторных работах и на практических занятиях.

Наличие компьютерных программ анализа технологических процессов позволяет в сравнительно короткое учебное время, при самостоятельной работе провести так называемый *машинный эксперимент* для анализа математических моделей.

Разумеется, что машинный, по существу *вычислительный эксперимент*, не может в полной мере заменить реальное исследование, но требует решения ряда вопросов, связанных с опытами.

Сюда можно отнести определение существенности факторов, пределов их возможных изменений, интерпретацию результатов расчетов, формирования выводов.

Соединение теоретических работ (построение физических, аналоговых, математических моделей) с экспериментальными позволяет выполнять очень интересные курсовые работы, дипломные проекты, магистерские кандидатские диссертации и, в конечном счете, повышать уровень профессиональной подготовки специалистов.

В конечном итоге всякий элемент исследований в вопросах совершенствования сельскохозяйственной техники и освоение производством новых технологий формирует у специалистов научное понимание материальной культуры общества, материалистическое мировоззрение в целом.

Контрольные вопросы

К главе 1

- 1.1. Как изменялась роль науки в историческом развитии человечества?
- 1.2. Какому определению науки Вы отдаете предпочтение?
- 1.3. В чем Вы видите отличие науки от других сфер духовной культуры (литература, различные виды искусства, религия и т.д.)?
- 1.4. В чем проявляется *относительность* научных знаний? Возможно ли достижение *абсолютной истины*?
- 1.5. Назовите основные этапы исследований составляющих *структуру* научного исследования в области прикладных наук.

К главе 2

- 2.1. Какие задачи Вы могли бы поставить перед наукой в вопросах развития технологий и средств механизации в сельском хозяйстве?

К главе 3

- 3.1. Как устроена Государственная система научно-технической информации России (ГСНТИ) и какие задачи она призвана решать?
- 3.2. Назовите основные функциональные блоки государственного уровня ГСНТИ.
- 3.3. В каких информационных изданиях предоставляют сведения о научно-технических разработках, опубликованных в отечественной и зарубежной печати?
- 3.4. В каких информационных изданиях предоставляют сведения о неопубликованных документах (отчетах по НИР, диссертациях, алгоритмах и программах, опытно-конструкторских разработках)?
- 3.5. В чем состоит особенность патентных публикаций и в каких информационных изданиях сведения о них могут быть предоставлены для широкого круга специалистов?
- 3.6. Какие задачи решает система научно-технической информации в агропромышленном комплексе (АПК) России?
- 3.7. Какие задачи стоят перед региональными, межведомственными центрами научно-технической информации и на какой основе они взаимодействуют с предприятиями и организациями?
- 3.8. Как может быть организована служба научно-технической информации на предприятии и в организации?
- 3.9. Назовите и охарактеризуйте основные виды классификации литературы в отечественных и зарубежных каталогах библиотек.
- 3.10. Что представляет собой международная классификация патентов (МКП) и как с ее помощью можно осуществить патентный поиск по теме исследования?
- 3.11. Какие научно-технические журналы, касающиеся сельскохозяйственной техники, выпускаются в настоящее время в России?

К главе 4

- 4.1. Гипотезы, их роль в исследовании.
- 4.2. По каким критериям оценивают гипотезы в научном исследовании?

- 5.1. Какова роль моделей в научном познании? Классификация моделей.
- 5.2. Назовите основные критерии подобия, которым должны соответствовать физические модели. Примеры построения физических моделей.
- 5.3. Основы теории размерностей. Уравнения размерностей, их анализ. Примеры использования.
- 5.4. Какие основания используются при аналоговом моделировании? Назовите примеры построения аналоговых моделей.
- 5.5. Какое место в научном исследовании занимают вербальные модели, их достоинства и недостатки.
- 5.6. Приведите примеры математических моделей, связанных с исследованиями сельскохозяйственной техники в виде алгебраических уравнений или их систем.
- 5.7. Модели, составленные на основе дифференциальных уравнений. Как используют принцип Даламбера при моделировании технологических процессов? Примеры.
- 5.8. Сформулируйте принцип Даламбера-Лагранжа. Как используют уравнения Лагранжа при моделировании технологических процессов?
- 5.9. Почему модели, использующие уравнения Лагранжа второго рода, как правило, приводят к системам дифференциальных уравнений?
- 5.10. Как решают системы дифференциальных уравнений методами операционного исчисления?
- 5.11. Что представляет собой передаточная функция динамического звена?
- 5.12. Свойства передаточных функций и их использование для определения передаточной функции сложной динамической системы.
- 5.13. Что представляют собой частотные функции динамических систем? Виды частотных функций, их характеристики.
- 5.14. Как характеризуют динамические системы с помощью переходных функций?
- 5.15. Как описывают динамику системы механических элементов с помощью уравнения Аппеля? Приведите примеры.
- 5.16. Какие виды вероятностных (стохастических) моделей технологических процессов используются при исследованиях сельскохозяйственной техники? Приведите примеры.
- 5.17. Что определяют законы распределения дискретных и непрерывных случайных величин?
- 5.18. Какими числовыми характеристиками оценивают случайные величины?
- 5.19. Что представляет собой *плотность распределения* случайных величин?
- 5.20. Определите последовательность действий (алгоритм), позволяющую, построить схему очистки семян культурных растений от сопутствующих сорняков, если известен состав смеси, все числовые характеристики компонентов и законы их распределения.
- 5.21. Как определить вероятностные характеристики очистки семян по той или иной схеме?
- 5.22. Определите закон распределения сложной системы как суперпозицию типовых распределений ее элементов.
- 5.23. Как и для чего строят имитационную модель технологического процесса? Приведите пример.

- 5.24. Что собой представляют псевдослучайные числа с равномерным распределением и как с их помощью можно получить числа с заданным законом распределения?
- 5.25. Охарактеризуйте внешние возмущения на машины и их рабочие органы как случайные функции.
- 5.26. Какими характеристиками оценивают случайные функции внешних возмущений?
- 5.27. Как преобразуются характеристики случайных функций внешних возмущений линейными динамическими системами сельскохозяйственных машин и их рабочих органов?

К главе 6

- 6.1 Охарактеризуйте основные виды эксперимента
- 6.2 Какие элементы включает методика экспериментальной работы?
- 6.3 Каким образом обеспечивается сопоставимость результатов при планировании полевых опытов?
- 6.4 В чем состоит метод Дж. Бокса и К. Уилсона при поиске оптимальных параметров многофакторного процесса?
- 6.5 Как составляют план полного факторного эксперимента?
- 6.6 Назовите свойства матрицы полного факторного эксперимента.
- 6.7 Какими могут оказаться уравнения регрессии при многофакторном эксперименте?
- 6.8 Как определяют коэффициенты уравнения регрессии?
- 6.9 В чем состоят преимущества и каковы недостатки дробного факторного эксперимента?
- 6.10 Как исследуют поверхность отклика в области оптимума?
- 6.11 Как построена Российская система калибровки измерительных средств и ее задачи?

К главе 7

- 7.1 По каким основаниям могут быть проклассифицированы ошибки измерений?
- 7.2 Назовите точечные оценки измеряемых параметров и требования, предъявляемые к ним.
- 7.3 Как построить доверительный интервал для математического ожидания измеряемой величины?
- 7.4 Как построить доверительный интервал для дисперсии измеряемой величины?
- 7.5 Какие критерии согласия используют при проверке гипотез о законе распределения?
- 7.6 Какими критериями согласия можно оценить принадлежность подозреваемых на промах результатов выборки?
- 7.7 Как оценивают существенность отличий оценок математического ожидания двух или ряда выборок?
- 7.8 Какими критериями оценивают существенность отличий дисперсий двух выборок?
- 7.9 Как вычисляют оценку коэффициента корреляции?
- 7.10 Какие задачи может решить исследователь с помощью дисперсионного анализа?

- 7.11 Для каких целей при обработке опытных данных используют метод наименьших квадратов?

К главе 8

- 8.1 Каким образом в Российской Федерации организована защита прав на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации?
- 8.2 Назовите условия патентоспособности изобретения.
- 8.3 Что должна включать в себя заявка на изобретение?
- 8.4 Назовите условия патентоспособности полезной модели.
- 8.5 Назовите условия патентоспособности промышленного образца.
- 8.6 Какова структура описания изобретения в заявке на получение патента?
- 8.7 Что представляет собой формула изобретения и типичная форма ее составления?
- 8.8 Как может распорядиться патентообладатель исключительным правом на изобретение, полезную модель или промышленный образец?
- 8.9 Как регистрируют права на фирменные наименования, товарный знак и знак обслуживания?
- 8.10 Как может быть организован патентный поиск при работе над курсовым или дипломным проектом, магистерской или кандидатской диссертацией?

К главе 9

- 9.1 Какие формы внедрения в производство могут иметь результаты научного исследования?
- 9.2 Назовите основные этапы маркетинговой деятельности предприятий.
- 9.3 Назовите элементы современного *маркетингового инструментария*, способствующие внедрению новых разработок в производство.
- 9.4 Как может быть организовано внедрение научных разработок в производство в условиях научно-исследовательских подразделений высших учебных заведений?

Литература

1. В.С. Степин. История и философия науки. М.: Академический проект, Трикста, 2011 – 423 с.
2. С.А. Иофинов. Становление инженерной науки и образования в России. СПб. СПГАУ, 1999 – 352 с.
3. К. Поппер. Логика научного исследования. М.: Республика, 2005
4. М.Я. Веселовский. Информационно-консультативная служба АПК России. М.: ФГНУ Росинформагротех, 2002 -225 с.
5. Концепция непрерывной информационной поддержки жизненного цикла (cals-технологии) сельскохозяйственных мобильных энергетических средств. М.: Росинформагротех, 2004 -142 с.
6. Организация консультационной службы в АПК России. / под рук. В.И. Нечаева. М.: КолосС, 2011 – 206 с.
7. Б.А. Черняков. Информационное обеспечение аграрного сектора. Опыт использования для России. Сб. материалов Всероссийской конференции. «Современные информационные технологии в АПК, состояние, проблемы, перспективы развития. Компьютерная система проекта ARIS». М.: 1999. С.20...23.
8. В.В. Брежнева. Информационное обслуживание: продукты и услуги, предоставляемые библиотеками и службами информации предприятий. СПб. Профессия, 2004 – 303 с.
9. УДК. Алфавитно-предметный указатель к тому VI (части1-2, 6/62. Инженерные науки. Том VI, 63/65. Сельское хозяйство). М.: ВИНТИ РАН. 2005 – 307 с.
10. Библиотечно-библиографическая классификация. Средние таблицы: Практическое пособие. М.: Либрея. – 2003 – 249 с.
11. П.Л. Капица. Эксперимент, теория, практика. М.: Наука. - 1981 – 495с.
12. П.Л. Капица. Физические задачи. М.: Знания, 1972
13. В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. Технология научных исследований – методы, модели, оценки. М.: МГУЛ, 2002 – 390 с.
14. К.А. Тимирязев. Соч. т. II. М.: 1948.
15. Д. Финни. Введение в теорию планирования экспериментов. М.: Наука. – 1970 – 280 с.
16. Р. Мур. Нильс Бор – человек и ученый. М.: Мир. 1969 – 469 с.
17. В.П. Тарасик. Математическое моделирование технических систем. Учебник. Мн.: Дизайн-Про. 2004 – 640 с.
18. А.В. Филончиков. Теория физического моделирования и технологии экспериментальных исследований. Кострома, КГСХА. 1997 – 104 с.
19. В.С. Киров, А.Ф. Кошурников. Сельскохозяйственные машины. Лабораторный практикум. Пермь. 1994 – 208 с.
20. А.Е. Петренко. Теоретические и экспериментальные основы усовершенствования пневматического способа посева овощных культур / Автореферат диссертации на соиск. уч. степени к.т.н. Киев, 1980 – 26с.
21. Н.М. Андрианов. Особенности газораспределения по длине коробов в шахтной зерносушилке // Техника в сельском хозяйстве. №5, 2004. С.20...22.
22. А.Ф. Кошурников. Испытания сельскохозяйственной техники. Пермь. ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2011 – 282 с.

- 23 А.Б. Лурье и др. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления. Л.: Колос. 1979 – 312 с.
- 24 А.Б. Лурье. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. М.: Колос. 1981 – 382 с.
- 25 А.Б. Лурье, В.Г. Еникеев и др. Сельскохозяйственные машины, СПб.– 1998– 366 с.
- 26 П.М. Василенко. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев. Изд-во УАСХН, 1960.
- 27 А.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. Курс теоретической механики. Том 2. Динамика. М.: Наука, 1983 – 640 с.
- 28 А.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987 – 840 с.
- 29 В.А. Сысуев и др. Методы механики в сельскохозяйственной технике. Киров, 1997 – 217 с.
- 30 Ю.Ф. Лачуга. Теоретическая механика. М.: Колос, 2000 – 576 с.
- 31 А.Ф. Кошурников и др. Анализ технологических процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами, с помощью ЭВМ. Часть I. Пермь, 1995– 271 с. Часть II. Пермь, 1998 – 370 с.
- 32 В.А. Диткин, А.П. Прудников. Справочник по операционному исчислению. М.: Высшая школа, 1965 – 465 с.
- 33 Д.Т. Письменный. Конспект лекций по высшей математике. 7-е изд. М.: Айрис-пресс, 2008 – 603 с.
- 34 М.М. Ильин, и др. Теория колебаний. М.: МВТУ, 2003 – 272 с.
- 35 Э.И. Липкович. Процессы обмолота и сепарации в молотильных аппаратах зерноуборочных комбайнов. Зерноград, 1973.
- 36 А.И. Седов. Механика сплошных сред. Т.2. М.: Наука, 1984 – 560 с.
- 37 Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. М.: Наука, 1973.
- 38 Е.С. Вентцель. Теория вероятностей. М.: Высшая школа, 2002 – 576с.
- 39 М.Н. Летошнев. Сельскохозяйственные машины. М., Л.: Сельхозгиз, 1955– 764 с.
- 40 Б.Я. Советов. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 2007 – 343с.
- 41 Е.И. Давидсон. Научные исследования мобильных сельхозмашин. СПб., СПбГАУ, 2009 – 133 с.
- 42 А.М. Валге. Обработка экспериментальных данных и моделирование динамических систем при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства. СПб. СЗ НИИМЭСХ, 2002 – 103 с.
- 43 Основы научных исследований: / Учеб. для техн. вузов / В.И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов и др. под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 1989 – 400 с.
- 44 Б.А. Доспехов. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2011 – 351 с.
- 45 Н. Джонсон, Ф. Лион. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1981 – 520 с.
- 46 Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Б.В. Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
- 47 С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, Ленинградское отделение, 1980. – 167 с.
- 48 А.Л. Митков, С.В. Кардашевский. Статистические методы в сельхозмашиностроении. – М.: Машиностроение, 1977. – 360 с.

49. П.М. Василенко, Л.В. Погорелый. Основы научных исследований. Киев: «Вища школа». 1985. – 266 с.
50. М.И. Юдин. Планирование эксперимента и обработка его результатов. Монография. – Краснодар: КГАУ, 2004. – 239 с.
51. Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. Методы и средства измерений. – М.: Академия, 2006. – 336 с.
52. В.Ф. Шириков, С.М. Зарбалиев. Математическая статистика. – М.: КолосС, 2009. – 480 с.
53. Теория вероятностей и математическая статистика / под ред. проф. В.Е. Ермакова. – М.: Инфра-М, 2004. – 287 с.
54. Боровиков С. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. – СПб.: 2001. – 648 с.
55. В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов и др. Надежность и ремонт машин: Учеб. – М.: Колос, 2000. – 755 с.
56. В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. Технология научных исследований. – М.: Изд-во МГУЛ, 2002. – 390 с.
57. Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть четвертая. – М.: ТК Велби, изд-во Проспект, 2007. – 176 с.
58. Комментарий к гражданскому кодексу Российской Федерации (постатейный). Часть четвертая. – М.: ТК Велби, изд-во Проспект, 2007. – 752 с.
59. Основы права интеллектуальной собственности. Курс лекций. / А.Г. Серго, В.С. Пушин. – М.: Интернет-Университет. Информ-технология, 2006. – 342с.
60. А.К. Жарова. Правовая защита интеллектуальной собственности. Учебное пособие для магистров / А.К. Жарова под общ. ред. С.В. Мальцевой. – М.: Изд. Юрайт, 2012 – 373 с. – Серия «Учебники НИУ ВШЭ».
61. Г.С. Альтшуллер. Алгоритм решения изобретательских задач. – М.: Московский рабочий. 1985.
62. Г.С. Альтшуллер и др. Поиск новых идей: от озарения к технологиям.– Кишинев: Картя Молдаванескэ. 1990.
63. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа. Методические рекомендации. – М.: Информ ФСА, 1991.
64. Т.Д. Маслова и др. Маркетинг. – СПб.: Питер, 2005. – 400 с.
65. www.triz-profy.com Подкатилин А.В. Изобретения на заказ: сельское хозяйство и продукты питания

Пример описания изобретения к патенту Российской Федерации

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 347 352⁽¹³⁾ C1

(51) МПК
A01F 12/44 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007116638/12, 02.05.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.05.2007

(45) Опубликовано: 27.02.2009 Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: Пневматический сортировальный стол
СПС-5. Техническое описание и инструкция по
эксплуатации. г.Черкассы: Облполиграфиздат,
1983. SU 1207487 A, 30.01.1986. RU 2212128
C1, 29.03.2003. SU 1068179 A, 23.01.1984. RU
2094133 C1, 27.10.1997. US 6398036 B1,
04.06.2002.

Адрес для переписки:
614990, г.Пермь, ГСП-165, ул.
Коммунистическая, 23, ФГОУ ВПО Пермская
ГСХА, Л.А. Барановой

(72) Автор(ы):

Галкин Василий Дмитриевич (RU),
Галкин Александр Дмитриевич (RU),
Хавыев Алмаз Альбертович (RU),
Хандриков Виктор Анатольевич (RU),
Грубов Константин Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

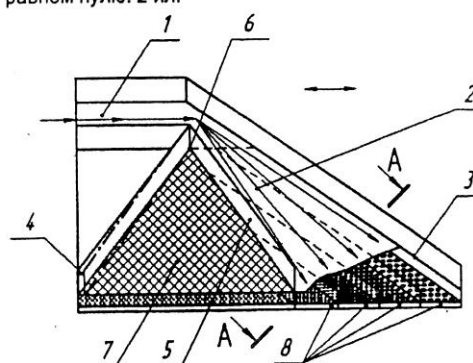
Федеральное государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования Пермская государственная
сельскохозяйственная академия имени
академика Д.Н. Прянишникова (RU)

(54) ДЕКА ВИБРОПНЕВМОСЕПАРАТОРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к
сельскохозяйственному машиностроению и может
быть использовано для разделения семян
сельскохозяйственных культур от примесей. Дека
вибропневмосепаратора выполнена в виде
трапеции, ограниченной короткой и длинной
наклонными стенками, и содержит
воздуховыравнивающее устройство в виде
перфорированных полосок. Короткая наклонная
стенка выполнена из двух вертикально
установленных пластин, снабженных шарниром.
Одна из пластин имеет возможность поворота в
сторону длинной стенки. К нижним частям пластин
прикреплен фартук из воздухонепроницаемого
материала. Перфорированные полоски
расположены параллельно длинной наклонной
стенке. Площадь живого сечения
перфорированных полосок уменьшается
пропорционально высотам находящегося на них

зернового материала. Вибропневмосепаратор
обеспечивает высокое качество очистки зернового
материала при поперечном угле наклона деки,
равном нулю. 2 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению, в частности к изобретениям для разделения малых партий семян сельскохозяйственных культур от легких низконатурных примесей в псевдооживленном слое на деках с поперечным углом наклона, равным нулю и регулируемым продольным углом, и может быть применено в пищевой промышленности и в сельском хозяйстве.

Известен вибропневмосепаратор (ВПС) французской фирмы «Hydromechanique et frottement», снабженный декой прямоугольной формы, работающей по прямоточной схеме с поперечным углом наклона деки, равным нулю. Дека имеет зону расслоения и ножевые делители псевдооживленного слоя, установленные на противоположной от загрузки стороне деки. Делители разделяют материал на фракции в зависимости от высоты слоя (Технологические основы применения пневматических сортировальных столов в сельском хозяйстве. - М.: Россельхозакадемия, 2003, с.87).

Недостатком машины является низкое качество сепарации при высоких удельных нагрузках ввиду низкой эффективности работы ножевых делителей псевдооживленного слоя семян.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является дека вибропневмосепаратора, выполненная в виде трапеции, содержащей зону расслоения, зону транспортирования, ограниченную короткой и длинной наклонными стенками. Дека имеет воздуховыравнивающее устройство в виде перфорированных полосок, расположенных параллельно направлению колебаний (разгрузочной кромке деки), причем площадь живого сечения перфорированных полосок уменьшается в направлении, перпендикулярном колебаниям деки (Пневматический сортировальный стол СПС-5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Черкассы. Облполитграфиздат. 1983.)

Недостатками деки являются низкое качество отделения легких примесей при поперечном угле наклона деки, равном нулю.

Технический результат изобретения заключается в повышении качества очистки зерновых смесей от легких примесей при поперечном угле наклона деки, равном нулю.

Сущность изобретения заключается в том, что короткая наклонная стенка выполнена из двух вертикально установленных пластин, снабженных шарниром, причем одна из пластин имеет возможность поворота в сторону длинной стенки, к нижним частям пластин прикреплен фартук из воздухонепроницаемого материала, а перфорированные полоски расположены параллельно длинной наклонной стенке, причем площадь живого сечения перфорированных полосок уменьшается пропорционально высотам зернового материала, находящегося на них.

Установка шарнира короткой наклонной стенки позволяет изменять угол установки подвижной пластины.

Длинная наклонная стенка приводит к сгуживанию материала возле нее, чем достигается различная толщина слоя по ширине деки, т.е. возникает наклон в поперечном сечении слоя, что способствует разделению на фракции и позволяет повысить качество очистки зерновых смесей от легких примесей.

Подвижная пластина наклонной стенки ограничивает площадь зоны транспортирования, что дает возможность использовать ВПС для работы при поперечном угле наклона деки, равном нулю.

Воздухонепроницаемый фартук закрывает часть деки между пластинами короткой наклонной стенки и препятствует прохождению воздуха через нее.

Изменение площади живого сечения полосок, пропорционально высотам зернового материала, находящегося на них, способствует выравниванию скоростей восходящего воздушного потока, продувающего слой материала, по всей площади деки, что повышает качество очистки.

На фиг.1 изображена схема деки.

Дека ВПС, выполненная в виде трапеции, состоит из зоны расслоения 1, ограниченной с трех сторон стенками, зоны транспортирования 2, ограниченной длинной наклонной

стенкой 3, короткой наклонной стенкой, выполненной из двух пластин - неподвижной 4 и подвижной 5, закрепленных на шарнире 6, воздухонепроницаемого фартука 7. Дека снабжена воздуховыравнивающим устройством в виде перфорированных полосок 8, расположенных параллельно длинной наклонной стенке 3, причем площадь живого сечения перфорированных полосок 8 уменьшается пропорционально высотам зернового материала, находящегося на них.

На фиг.2 показан разрез деки по А-А, со слоем зерна.

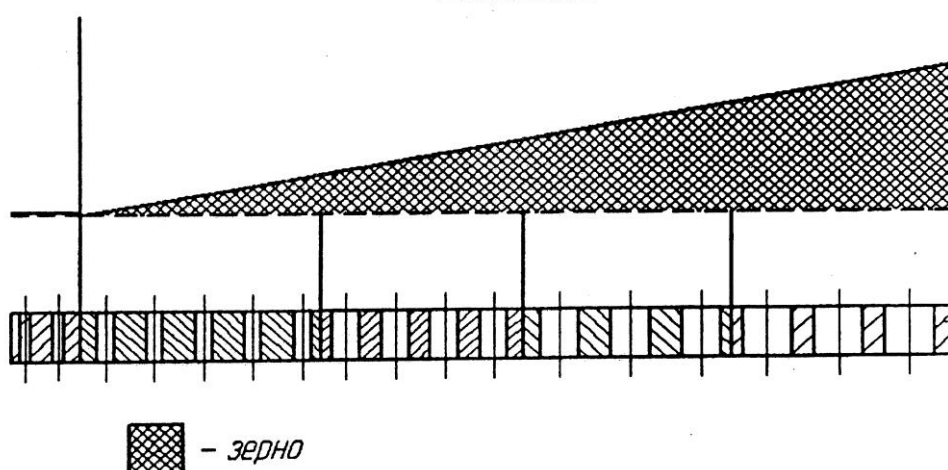
При разделении материала от легких примесей работа деки ВПС осуществляется следующим образом. Исходный материал подается в зону расслоения 1. После расслоения по комплексу свойств, в том числе по плотности материал поступает в зону транспортирования 2 на участок с длинной наклонной стенкой 3. Дальнейшее движение слоя происходит вдоль стенки 3. В сечении слоя, перпендикулярном стенке 3 (фиг.2), возникает наклон. Скорость восходящего воздушного потока, продувающего материал, остается постоянной по всей ширине деки за счет перфорированных полосок 8. Легкие примеси, оказавшиеся после расслоения сверху слоя, под действием силы тяжести скатываются к короткой наклонной стенке 5 и двигаются вдоль нее. Таким образом, происходит распределение компонентов материала по ширине деки. Легкие примеси сходят ближе к стенке 5. Очищенные семена двигаются вдоль стенки 3.

Предлагаемое изобретение позволяет повысить качество очистки семян при поперечном угле наклона деки, равном 0° , и снизить затраты энергии на обработку семян.

Формула изобретения

Дека вибропневмосепаратора, выполненная в виде трапеции, содержащая зону расслоения и зону транспортирования, ограниченную короткой и длинной наклонными стенками, воздуховыравнивающее устройство в виде перфорированных полосок, отличающаяся тем, что короткая наклонная стенка выполнена из двух вертикально установленных пластин, снабженных шарниром, причем одна из пластин имеет возможность поворота в сторону длинной стенки, к нижним частям пластин прикреплен фартук из воздухонепроницаемого материала, а перфорированные полоски расположены параллельно длинной наклонной стенке, причем площадь живого сечения перфорированных полосок уменьшается пропорционально высотам зернового материала, находящегося на них.

A-A



Фиг. 2

Пример использования методов ТРИЗ к решению изобретательской задачи [65]

«Воздушная пшеница» и «воздушная кукуруза» – это общепризнанное детское лакомство. Все малыши, да и взрослые, любят маленькие белые «розочки», обжаренные в масле и обсыпанные сахарной пудрой. Готовят их из зерен пшеницы или кукурузы в специальном аппарате и сразу продают в горячем виде.

Почему же этот продукт редко бывает в продаже? Зарубежные аппараты стоят дорого, и они не по карману владельцам небольших продовольственных ларьков, предпринимателям малого бизнеса. Почему бы самим не производить дешевые аппараты у себя, в России? Пробовали, не получилось...

В чем секрет изготовления воздушной пшеницы или кукурузы? Как из зерна получается вкусная «воздушная розочка»?

...Горсть пшеницы помещают в небольшую герметичную камеру. Затем в камеру очень резко, за долю секунды, подается перегретый пар под давлением 1,5 МПа. Через несколько секунд давление так же резко сбрасывается. А в камере остаются готовые «воздушные розочки».

Создать пар под давлением 1,5 МПа – не проблема. Проблемами оказались способы резкой подачи пара в герметичную камеру и резкого сброса давления. Существующие резьбовые вентили надежно работают при высоких давлениях пара, но открывают и закрывают путь пару медленно, за десятки секунд. А необходимо – за десятую долю секунды.

Есть дисковые краны, способные очень быстро открывать и закрывать отверстия. Два диска с отверстиями прижаты друг к другу, нижний – неподвижен, верхний – быстро вращается вокруг своей оси. При совпадении отверстий в дисках пар мгновенно врывается в камеру (см. рис. П2-1).

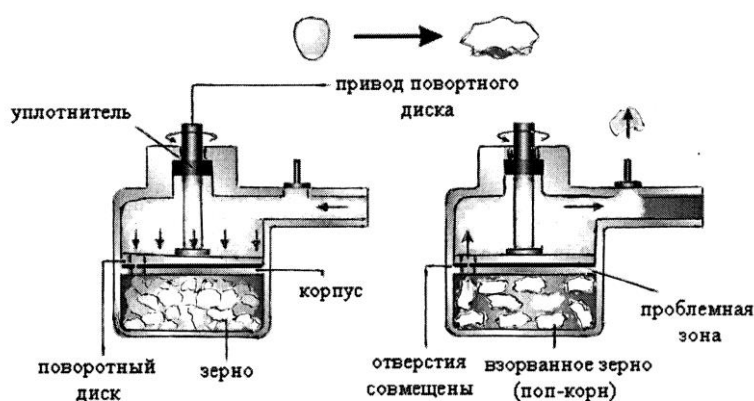


Рис. П2-1. Устройство дискового крана для сброса давления пара

Проблема в том, что на вращающийся диск действует огромное прижимающее давление пара – 1,5 МПа! Сила прижатия так велика, что бронзовые или латунные диски от трения при повороте изнашиваются в течение нескольких часов, когда необходимо несколько тысяч часов работы.

В зарубежных аппаратах на диски наносят специальное полимерное покрытие, обладающее малым коэффициентом трения и высокой износостойчивостью. Это «ноу-хау» – секрет изготовителя, технология создания подобных полимерных покрытий в России неизвестна. Поэтому предприниматели и вынуждены покупать дорогие зарубежные аппараты.

На семинаре по ТРИЗ, где озвучили эту задачу, присутствовали директора предприятий, главные инженеры, опытные ведущие специалисты: технологи, конструкторы, энергетики, механики и т. д. Все они единодушно заявили, что без покупки лицензии на износостойчивый зарубежный полимер эту задачу решить невозможно. Для меня это единодушие было подтверждением: все слушатели находятся под властью инерции мышления: Нет нужной информации – значит, задача неразрешима.

Можно ли сознательно избавиться от этого наваждения, от инерции мышления?

Да, в ТЭР (теории эффективных решений) существует для этого специальный инструмент: пятишаговый функциональный анализ, «пятишаговка». Нужно последовательно задать пять вопросов и ответить на каждый из них. Давайте попробуем сделать это вместе.

Первый вопрос: Какова конечная цель, с которой ставится задача?

Что в условии задачи «плохо»? В чем заключается «нежелательный эффект» (НЭ)? НЭ – очень быстрый износ дисков под действием высокого давления пара (1,5 МПа). Наша конечная цель – не допустить быстрый износ дисков. Записываем ответ на первый вопрос:

«Не допустить быстрый износ дисков».

Второй вопрос: Что желательно получить в самом идеальном случае?

Идеальный случай – это когда конечная цель достигается «без ничего», сама собой. Конечная цель – не допустить быстрый износ дисков. Значит, ответ на второй вопрос будет выглядеть так:

«Сам собой, без ничего быстрый износ дисков не происходит».

Третий вопрос: Что мешает получению ИКР, в чем помеха?

«В реальности происходит быстрый износ дисков, а это недопустимо».

Четвертый вопрос: В чем научно-обоснованная причина помехи?

Выписываем все возможные причины помехи, обращаясь при необходимости к специалистам, изучая специальную литературу, используя личные знания и т. д. Причины должны быть, по возможности, достоверны. На поиск причин иногда уходит 50–90% времени решения задачи.

1. Очень большое давление пара на поворотный диск.
2. Большая сила трения между дисками.
3. Малая прочность материалов диска на истирание.
4. Большая сила прижатия поворотного диска к неподвижному и т.п.

Пятый вопрос: Как 1) не допустить; 2) компенсировать; 3) устранить причину помехи?

К каждой причине помехи подставляем по очереди указанные три вопроса:

1.1. Как не допустить большое давление пара на поворотный диск? – Уменьшить давление пара с 1,5 МПа до 0,1 МПа. Но 1,5 МПа нужны по условию задачи! – Ответа нет...

1.2. Как компенсировать большое давление пара? – Ответ не виден...

1.3. Как устранить давление пара? – Не понятно, ведь давление нам нужно!

2.1. Как не допустить большую силу трения? – Смазывать поверхности дисков... Применить керамические диски... Попробовать диски из фторопласта...

2.2. Как компенсировать силу трения между дисками? – Можно применить ультразвуковой вибратор...

2.3. Как устранить большую силу трения? – Нужны материалы с низким коэффициентом трения, но нет нужной информации по этому вопросу.

3.1. Как не допустить малой прочности дисков на истирание? – Поставить более прочные: полиамидные, фторопластовые, керамические диски...

3.2. Как компенсировать малую прочность дисков на истирание? – Приготовить заранее запасные части, часто менять диски...

3.3. Как устранить причину малой прочности дисков на истирание? – Покрыть диски прочным покрытием...

4.1. Как не допустить большую силу прижатия поворотного диска к неподвижному? – Не понятно...

4.2. Как компенсировать большую силу прижатия поворотного диска к неподвижному? – Подействовать противосилой, направив противосилу навстречу силе прижатия.

4.3. Как устранить большую силу прижатия? – Не понятно...

Из многих гипотетических решений наиболее адекватным при существующих условиях нам показался вариант решения 4.2. Нужно компенсировать силу прижатия поворотного диска к неподвижному, приложив к нему силу с противоположным направлением.

Как это сделать технически?

Можно над поворотным диском поставить стяжную пружину, тянущую диск вверх. Тогда при давлении пара на поворотный диск, скажем, силой 1000 Н и тянущим усилием пружины 990 Н поворотный диск будет прижиматься к неподвижному с силой всего 10 Н!

Хорошее решение? А если давление пара окажется меньше 1,5 МПа, поворотный диск оторвется от неподвижного под силой пружины, между ними образуется щель.

Решение не годится.

А нельзя ли использовать для создания противосилы ту силу, которая в данном случае является «вредной»? («Вредная сила» – это сила давления пара в 1,5 МПа.) Можно!

Это реализуется таким устройством (см. рис. П2-2).

Теперь при любом давлении пара поворотный диск будет прижиматься к неподвижному с самым минимальным усилием. Следовательно, износ дисков практически прекратится. Для дисков можно теперь применять любой доступный материал. Заграничное «ноу-хау» нам уже не нужно.

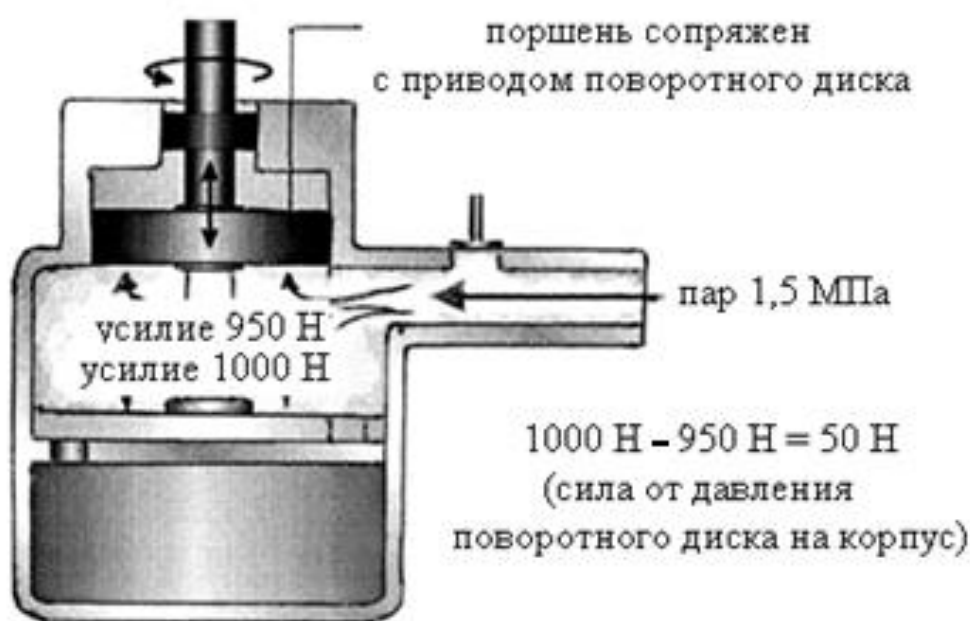


Рис. П2-2. Устройство крана с компенсацией сил прижатия подвижного диска к неподвижному

Решение этой задачи имеет забавное окончание. На семинаре были специалисты с самых разных предприятий. Директор одного из них предложил производить аппараты серийно на его предприятии. Представители конструкторского бюро взялись изготовить техническую документацию. Предприниматели сформировали заказ на необходимое количество аппаратов. В перерыве занятий был заключен договор между заинтересованными лицами – и дело сдвинулось с мертвой точки. Семинар по ТРИЗ неожиданно оказался эффективным катализатором развития предпринимательства.

Пример использования метода функционально-стоимостного анализа (ФСА) к решению изобретательной задачи

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФСА+ТРИЗ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЧЕСЫВАЮЩЕГО ЗЕРНОУБОРОЧНОГО УСТРОЙСТВА

*© Петр Иванович Чуксин, Александр Иванович Скуратович, Николай Андреевич Шпаковский,
Беларусь, Минск*

ВВЕДЕНИЕ

Высокое качество выпускаемых изделий - одна из основных предпосылок успешности продукции любой компании на мировом рынке. Высокое качество закладывается на ранних стадиях проектирования. В процессе проектирования любого изделия встречаются ситуации, когда применение известных решений по тем или иным причинам не дает желаемого результата, и инженер вынужден искать новые способы решения задачи - решать изобретательскую задачу.

Проектирование качественных изделий в большинстве случаев связано с постановкой и решением изобретательских задач. Методы постановки и решения изобретательских задач, обучение этим методам, должны быть органично включены в реальный процесс проектирования.

Одним из эффективных методов совершенствования техники являются метод ФСА+ТРИЗ, основанный на объединении функционально-стоимостного анализа (ФСА) [ПЗ-1] с инструментами решения изобретательских задач, разработанными в рамках теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) Г.С.Альтшуллером и его учениками [ПЗ-2]. Этот метод отражает основной закон развития техники - стремление к идеальности, когда самой машины нет, а ее функция выполняется.

Суть метода заключается в выявлении и удалении из конструкции машины тех ее частей, которые выполняют вспомогательные функции. Конструкция машины изменяется так, что части машины, выполняющие вспомогательные функции, удаляются из системы, а их функции либо становятся ненужными, либо передаются оставшимся частям. В результате машина выполняет функции меньшим числом составляющих ее частей. При этом качество работы машины не должно ухудшаться [ПЗ-3].

Данная статья иллюстрирует высокую эффективность метода ФСА+ТРИЗ на примере усовершенствования очесывающего устройства.

КОНСТРУКЦИЯ И РАБОТА ОЧЕСЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

В течение ряда лет в Белорусском НПО "Белсельхозмеханизация" проводились исследования по новой технологии уборки зерновых культур методом очесывания растений и очесывающим устройствам. Это одно из перспективных направлений технологии уборки зерновых, зернобобовых культур, семенников трав, ягод, плодов. Суть новой технологии заключается в том, что в комбайн подается и обмолачивается не все растение - стебель с колосом, а только очесанные колосья, с содержащимся в них зерном. Стебли растения - солома - при этом остаются на поле, на корню (Рис.ПЗ-1).

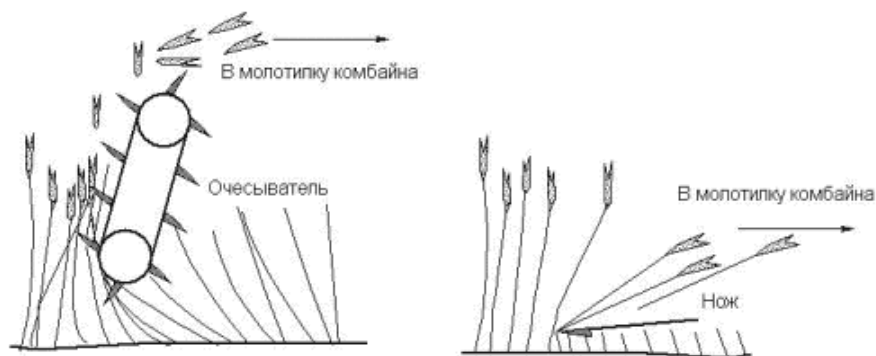


Рис. ПЗ-1. Новая и традиционная технологии уборки зерновых культур

Это позволяет сэкономить до 70% энергии, которую комбайн расходует на деформацию соломы в молотилке. При этом обеспечивается двух-, трехкратное повышение производительности и в полтора раза снижается расход топлива. На сегодня только несколько фирм в мире выпускают очесывающие устройства подобного типа [ПЗ-4].

Для уборки колосьев вместо обычной жатки на комбайн устанавливается очесывающее устройство, которое прочесывает зубьями стебли и отрывает от них колосья. В НПО "Белсельхозмеханизация" было разработано оригинальное очесывающее устройство транспортерного типа, защищенное несколькими авторскими свидетельствами. Разработанное очесывающее устройство устанавливалось на зерноуборочном комбайне СК-5 "Нива" (рис.ПЗ-2), его конструктивная схема приведена на рисунке 3.

Очесывающее устройство состоит из следующих основных узлов: корпус, очесыватель, питатель, крыша, битер, шнек, наклонная камера, привод. В процессе работы устройство взаимодействует со следующими объектами надсистемы: почва, стебли, колосья, комбайн, комбайнер.



Рис. ПЗ-2. Очесывающая устройство к комбайну СК-5 "Нива"

Корпус предназначен для размещения на нем рабочих органов очесывающего устройства и придания всей конструкции определенной жесткости. Корпус представляет собой сварную конструкцию, задняя часть которой образует сборную камеру, куда попадают очесанные колосья.

Очесыватель предназначен для отрыва колосьев от стеблей и транспортирования их в сборную камеру. Он установлен внутри корпуса и представляет собой двухвальный транспортер с лентой, на которой закреплены металлические зубья.

Питатель представляет собой устройство, которое наклоняет растения к оче-

сывателю, поднимает полеглые стебли растений. Питатель выполнен в виде трубы с размещенным внутри нее эксцентричным валом, снабженным упругими пальцами. Питатель перемещается относительно корпуса в зависимости от высоты и состояния убираемых растений.

Крыша служит для направления движения потока очесанных колосьев в сборную камеру. Крыша жестко крепится к корпусу и имеет люк, открывающий доступ внутрь корпуса. Передняя стенка крыши, питатель, корпус и очесыватель образуют камеру очеса стеблей.

Битер предназначен для съема колосьев и стеблей, застрявших в зубьях очесывателя и предотвращения их нависания на передней кромке сборной камеры. Битер представляет собой вращающийся от привода четырехлопастной вал.

Шнек. В сборной камере размещается шнек, который сдвигает колосья к центру и подает их в наклонную камеру комбайна.

Привод предназначен для передачи крутящего момента от комбайна на рабочие органы очесывающего устройства - шнек, питатель, очесыватель, битер. Имеется также гидравлические цилиндры для перемещения питателя и очесывающего устройства по высоте. Узлы привода крепятся на корпусе очесывающего устройства.

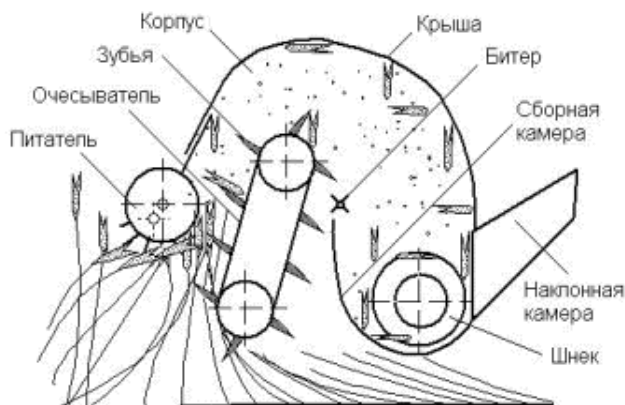


Рис. ПЗ-3. Конструктивная схема очесывающего устройства

Работает очесывающее устройство следующим образом.

Комбайн с установленным на нем очесывающим устройством движется по полю и внедряется в стеблестой. Вращающийся питатель сдвигает и уплотняет прямостоящие стебли растений, при этом питатель своими пальцами захватывает и подает стебли к очесывателю. Зубья очесывателя, двигаясь с большой скоростью, прочесывают стебли снизу вверх и обрывают колосья. Оборванные колосья зубьями переносятся вверх и сбрасываются в сборную камеру, откуда шнеком подаются в наклонную камеру и молотилку комбайна. Колосья, застрявшие в зубьях очесывателя, снимаются вращающимся битером и также сбрасываются в сборную камеру.

Проведенные испытания показали, что разработанное очесывающее устройство имело ряд существенных недостатков:

- большой вес (2130 кг.), превышающий допустимую нагрузку на переднюю ось комбайна;
- большие габариты - устройство закрывало комбайнеру обзор рабочей зоны;
- повышенные потери зерна - 4,5...9%, при допустимых 2,5...3,5%.

Попытки устранить недостатки конструкции традиционными методами про-

ектирования не давали нужного результата. Было решено использовать метод ФСА+ТРИЗ.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧЕСЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФСА+ТРИЗ

Работа по усовершенствованию очесывающего устройства включала в себя следующие этапы: подготовительный, информационный, структурный анализ, функциональный анализ, функционально-идеальное моделирование, решение выявленных задач, оформление технических предложений, написание отчета.

Подготовительный и информационный этапы

Работа выполнялась специально собранным для этой работы временным творческим коллективом, в состав которого входили специалист по методам технического творчества, научные сотрудники, связанные с новой технологией уборки, инженеры-конструкторы, инженер-технолог, патентовед,. Все они были ознакомлены с конструктивными особенностями и работой очесывающего устройства. Особенностью этого коллектива являлось то, что только два человека были обучены методам ФСА и ТРИЗ, а на выполнение работ отводился краткий срок - 1 месяц. Обучать основам ТРИЗ и ФСА было некогда. Складывалась противоречивая ситуация - работу должны были выполнить быстро и качественно люди не знающие методики ее выполнения.

Выход был найден в совмещении процесса обучения участников с процессом анализа. На каждой рабочей встрече группу обучали следующему шагу анализа, а затем группа училась выполнять этот шаг, анализируя очесывающее устройство.

Положительным фактором было то, что после получения пакета предложений по усовершенствованию очесывающего устройства, эта же группа конструкторов разрабатывала конструкторскую документацию.

Структурный анализ очесывающего устройства

В процессе анализа была построена структурная модель очесывающего устройства (рис.4). Были также описаны связи между его узлами, сформулированы задачи и предложения по улучшению их конструкции. Каждая связь между узлами очесывающего устройства была описана следующим образом:

Взаимодействующие компоненты:

Колос - Очесыватель

Полезное действие:

Зубья очесывателя отрывают колосья от стебля, и очесыватель бросает их в сборную камеру.

Нежелательный эффект:

Часть колосьев не сбрасывается в сборную камеру, а выносятся холостой ветвью зубчатой ленты очесывателя на почву.

Задача: Требуется устранить нежелательный эффект - вынос колосьев зубчатой лентой на почву, сохранив полезное действие - отрыв колосьев от стеблей и перенос их в сборную камеру.

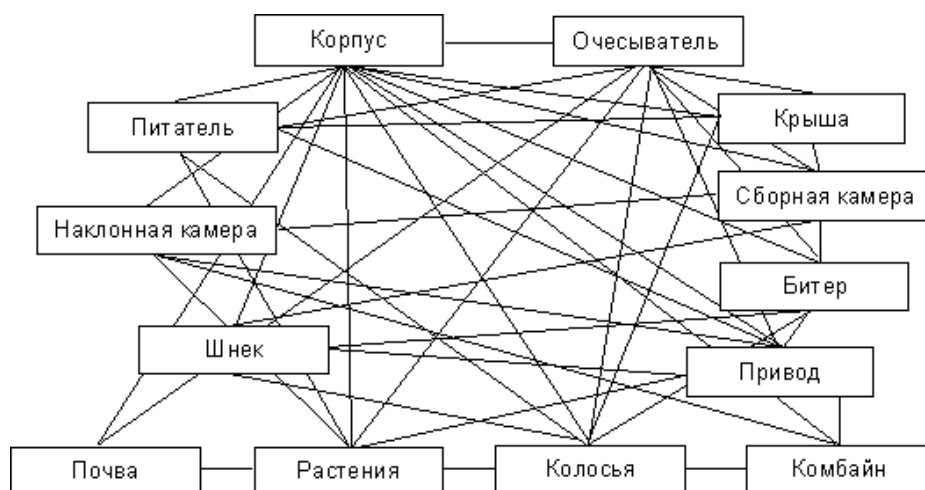


Рис. ПЗ-4. Структурная модель очесывающего устройства

Анализ всех связей позволил сформулировать и выявить много нежелательных эффектов, возникающих при взаимодействии узлов очесывающего устройства друг с другом и с объектами ближайшей надсистемы. По ходу анализа было сделано множество предложений, не требующих особых усилий для их внедрения в конструкцию.

Например: анализ показал, что большая длина очесывателя была целесообразна, когда в конструкции очесывающего устройства еще не было питателя. Применение питателя изменило характер взаимодействия стеблей с очесывателем, и необходимость в такой большой длине очесывателя отпала. Однако при проектировании очередной конструкции очесывающего устройства это обстоятельство было упущено. В результате анализа предложили уменьшить длину транспортера. Был проведен расчет, и межосевое расстояние между валами очесывателя было уменьшено на 375 мм. Это позволило существенно уменьшить габариты и вес не только самого очесывателя, но и рамы очесывающего устройства.

Функциональный анализ

На основе информации, полученной во время проведения структурного анализа, были сформулированы главная функция очесывающего устройства и функции его основных узлов.

Функциональный анализ позволил выяснить, какие узлы очесывающего устройства выполняют основные функции, а какие вспомогательные, а также сформулировать задачи по повышению качества выполнения функций узлов очесывающего устройства.

При проведении функционального анализа группа натолкнулась на следующую методическую трудность. Оказалось, что почти все узлы очесывающего устройства взаимодействуют с изделием - стеблями и колосьями. По имеющимся в ФСА правилам ранжирования функций, все элементы машины, которые обрабатывают изделие, являются носителями основных функций.

Все узлы очесывающего устройства, кроме привода, действительно работают со стеблями и колосьями, и, с этой точки зрения, все они выполняют основные функции. Как в этом случае получить рекомендации для свертывания узлов очесывающего устройства? Обычно свертывание конструкции машины начинают с частей, выполняющих вспомогательные функции.

Было предложено проанализировать не саму конструкцию очесывающего устройства, а технологический процесс очесывания стеблей и операции этого процесса. При таком подходе каждый узел очесывающего устройства выполняет определенную операцию по обработке стебля и колоса. Анализ позволил выявить какие узлы выполняют основные операции и вносят основной вклад в выполнение главной функции, а какие только способствуют ее выполнению.

Основные операции направлены на обработку изделия в соответствии с заданными требованиями. Основной операцией для процесса очеса растений является отрыв колосьев от стеблей.

Вспомогательные операции обеспечивают выполнение основных или исправляют недостатки, возникшие на основных и других вспомогательных операциях. Основную операцию выполняет зубчатая лента очесывателя, отрывающая колосья от стебля, а все остальные узлы очесывающего устройства выполняют вспомогательные или исправляющие операции. Получилось, что вспомогательными операциями являются: уплотнение стеблей, подача стеблей в зону очеса, транспортировка стеблей в сборную камеру, съем стеблей с зубьев очесывателя.

Так например, битер, выполняет исправляющую операцию - он снимает с зубьев очесывателя зацепившиеся колосья и стебли. Это исправляющая операция, потому что она исправляет недостатки вспомогательной операции по перемещению колосьев в сборную камеру. Недостаток очесывателя заключается в том, что не все колосья сбрасываются с очесывателя в сборную камеру, часть колосьев цепляется за зубья и выносятся на почву.

Было решено попытаться обойтись без битера - свернуть его.

Функционально-идеальное моделирование – свертывание

Итак, в процессе функционального анализа было предложено отказаться от битера, который выполняет исправляющую операцию. После этого, в соответствии с правилами свертывания объектов, была построена функционально-идеальная модель очесывающего устройства. Модель отражала упрощение и снижение веса узлов очесывающего устройства и содержала меньшее число вспомогательных частей (рис.ПЗ-5).



Рис. ПЗ-5. Идеальная модель очесывающего устройства

На предыдущем этапе были сформулированы изобретательские задачи, которые необходимо решить для реализации этой модели. Удаление битера из конструкции требует отследить, к каким изменениям в конструкции это может привести.

В соответствии с правилами свертывания были сформулированы следующие условия.

Битер выполняет две функции:

1. Снимает колосья с зубьев очесывателя;
2. Препятствует нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса.

Условия свертывания для функции: снимать колосья с зубьев очесывателя.

Битер, выполняющий функцию "снимать колосья с зубьев очесывателя", может быть ликвидирован, если:

А) нет колосьев;

Б) функцию "снимать колосья с зубьев очесывателя" выполнит сам очесыватель посредством его ресурсов (материал, форма, расположение и т.д.);

С1) функцию "снимать колосья с зубьев очесывателя" выполнит корпус;

С2) функцию "снимать колосья с зубьев очесывателя" выполнит питатель;

С3) функцию "снимать колосья с зубьев очесывателя" выполнит крыша;

С4) функцию "снимать колосья с зубьев очесывателя" выполнит шнек;

С5) функцию "снимать колосья с зубьев очесывателя" выполнит привод.

Выбираем вариант С1, т.к. элемент корпус, а именно, передняя кромка сборной камеры находится в непосредственной близости к оперативной зоне - месту, где происходит конфликт - "неполный съем колосьев с зубьев очесывателя".

Задача 1.

Итак, в результате свертывания первой функции битера возникает задача: как изменить корпус, а точнее, переднюю кромку сборной камеры, чтобы она выполняла функцию "снимать колосья с зубьев очесывателя"?

Условия свертывания для функции "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса" следующие.

Битер, выполняющий функцию "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса", может быть ликвидирован, если:

А) нет колосьев;

Б) функцию "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса" выполнит сама кромка сборной камеры корпуса посредством его ресурсов (материал, форма, расположение и т.д.);

С1) функцию "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса" выполнит очесыватель;

С2) функцию "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса" выполнит питатель;

С3) функцию "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса" выполнит крыша;

С4) функцию "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса" выполнит шнек;

С5) функцию "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса" выполнит привод.

Выбираем вариант "Б", т.к. он является предпочтительным при выполнении и первой функции битера.

Задача 2.

Итак, в результате свертывания второй функции битера возникает задача: как изменить элемент корпус, чтобы он сам выполнял функцию "препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры корпуса".

Решение выявленных задач

Для поиска идей решений для сформулированных задач использовались такие решательные инструменты ТРИЗ, как приемы разрешения технических противоречий, стандартные решения изобретательских задач, алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), указатель физических эффектов.

Были сформулированы задачи 1 и 2 по изменению передней кромки сборной камеры так, чтобы она, не хуже чем битей, выполняла его функции:

- снимать колосья с зубьев очесывателя;
- препятствовать нависанию колосьев на кромке сборной камеры.

Эта задача была решена путем размещения передней кромки сборной камеры в непосредственной близости от зубчатой ленты очесывателя и согласованием ее формы с формой зубьев на зубчатой ленте. В результате передняя кромка сборной камеры стала зубчатой, и зубья очесывающей ленты, проходили между ее зубьями. Зубья кромки было предложено выполнить гибкими, эластичными (во избежание их поломок) и установить под определенным углом, для лучшего съема колосьев с очесывателя (рис. ПЗ-6).

Для усовершенствования конструкции очесывателя были сформулированы следующие предложения:

- удалить из конструкции битей, а выполнение его функции передать передней кромке сборной камеры;
- верхнюю кромку желоба выполнить в виде гибких упругих зубьев, концы которых расположены между зубьями очесывателя;
- удалить привод битей, что приводит к упрощению конструкции и снижению веса привода очесывающего устройства, устранению перекоса очесывателя в сторону, где расположен привод;
- создать образ идеального очесывающего устройства, являющегося дальним прогнозом развития машин этого класса.

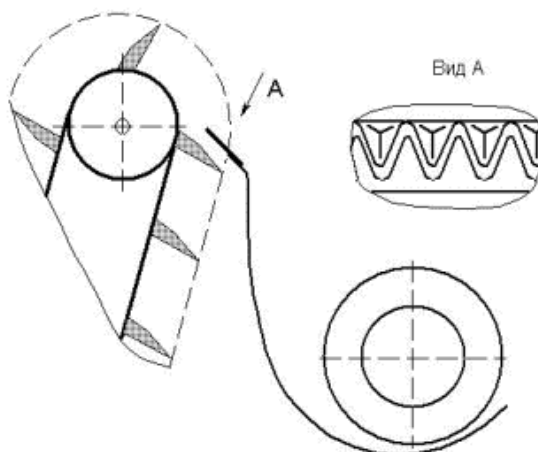


Рис. ПЗ-6. Предложения по изменению стенки сборной камеры

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технический результат

Проведение работ по совершенствованию очесывающего устройства с применением метода ФСА+ТРИЗ позволило на 19% снизить вес и существенно уменьшить габариты машины, снизить потери до уровня агротребований - 1,5...3%.

Научный результат

В ходе работ было найдено несколько новых технологических и технических решений, был сформулирован образ идеального очесывателя, являющегося дальним прогнозом развития этих устройств. По целому ряду узлов очесывающего устройства были поданы заявки в республике Беларусь и в России. По техническому решению, связанному со свертыванием битера и применением зубчатого съемника, был получен патент США 5974772 [6].

Организационный результат

После проведения ФСА группа участвовавших в работе конструкторов, благодаря знаниям, полученным в ходе работы над очесывающим устройством, разработала конструкторскую документацию в кратчайшие сроки и с высоким качеством.

Организационная находка

Обучение временной рабочей группы методам постановки и решения задач в процессе усовершенствования объекта анализа.

Методическая находка

Применение правил анализа функций технологических операций для технического устройства. В любом техническом устройстве осуществляются процессы преобразования вещества, энергии, информации. Поэтому правила анализа и приемы усовершенствования, применяемые для процессов, можно использовать и для усовершенствования объектов. Методика анализа процессов дополняет методику анализа объектов и должна использоваться совместно. Это говорит еще и о том, что необходимо разработать обобщенную единую методику анализа.

ЛИТЕРАТУРА к приложению 3

- ПЗ-1. Справочник по ФСА. Под. ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. М.: Финансы и статистика, 1988.
- ПЗ-2. Г.С. Альтшуллер, Б.Л. Злотин, А.В. Зусман, В.И.Филатов, Поиск новых идей: от озарения к технологии - Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1990.
- ПЗ-3. Герасимов В.М., Литвин С.С. "Учет закономерностей развития техники при проведении ФСА технологических процессов". Практика проведения ФСА в электротехнической промышленности. Под ред. М.Г. Карпунина. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
- ПЗ-4. В. Лосев, П. Чуксин, Н. Шпаковский "Очесывающий адаптер АГСК-4", Агропанорама №1, 1995.
- ПЗ-5. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа: Методические рекомендации. - М.: ИнформФСА, 1991.
- ПЗ-6. US Patent 5974772 System for harvesting crops by combing.

Учебное издание

Кошурников Анатолий Федорович

ОСНОВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебное пособие

Редактор Е.А. Граевская

Подписано в печать 27.10. 2014. Формат 60×84¹/₈
Усл. печ. л. 39,63. Тираж 100 экз. Заказ № 99

ИПЦ «*ПрокростЪ*»

Пермской государственной сельскохозяйственной академии

имени академика Д.Н. Прянишникова,

614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23

тел.(342) 210-35-34

E-mail: gd@parmail.ru