МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

А.Б. Бушуев

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ

Учебное пособие

Санкт- Петербург

2013

А.Б. Бушуев. Информационная оценка уровня развития техники – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 76с.

В учебном пособии рассмотрены основные понятия теории массового обслуживания и патентного права, и их приложения для информационной оценки уровня развития техники. Пособие предназначено для магистров технических вузов по направлению 220100.68 «Системный анализ и управление».

Рекомендовано к печати Учёным советом Факультета КТ и У, 8.10.2013г, протокол № 9

Оглавление

4. Информационная оценка изобретений

Предисловие

В Российской Федерации в системе разработки и постановки продукции на производство действует государственный стандарт на патентные исследования ГОСТ Р 15.011-96. Патентные исследования проводятся с целью определения существующего уровня техники, прогнозирования новых технических решений, патентоспособности, патентной чистоты и конкурентоспособности продукции. Патентная чистота предполагает, что в выпускаемой продукции не нарушаются права других патентовладельцев.

Существует регламент патентных исследований, т.е. правила, по которым проводятся эти исследования. В частности, в регламенте определяются страны, патенты которых необходимо искать, а также глубину поиска. Обычно ищутся патенты и другая техническая документация наиболее развитых в промышленном отношении стран. Поиск начинают с отечественных, российских патентов, и патентов СССР. Рекомендуемая глубина поиска примерно 50 лет, для ведущих областей техники (например, IT-технологий, аэрокосмической промышленности) 15 лет. Из патентов других стран рекомендуется поискать патенты США, Великобритании, Франции, Германии, Японии, совместные патенты ЕЭС (европатенты), Швейцарии. Возможен поиск патентов и других стран. Это зависит от области техники, в которой проводятся патентные исследования. Например, в области переработки древесины необходимо поискать патенты Финляндии, Швеции, Канады. В результате патентных исследований составляется отчет, с формой которого можно ознакомиться в ГОСТ Р 15.011-96.

Обычно патентные исследования проводят разработчики продукции. Любая серьезная фирма или корпорация имеет в своём составе патентно-исследовательские отделы. Мелкие фирмы либо заказывают патентные исследования на коммерческой основе у поисковых фирм, либо сами конструкторы осуществляют патентный поиск. Так или иначе, практический изобретатель должен быть знаком с уровнем техники, определяемым патентами в его области, сам ли он ищет, либо получает готовые патентные исследования. Без этой информации невозможно принимать конструкторские решения.

Недостатком патентных исследований является отсутствие количественных оценок уровня развития техники. Патентами защищаются технологии производства, а также конструкции технических систем, т.е. качественные решения, которые трудно оценить количественно.

В теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) [1] для оценки уровня развития технических систем используются так называемые S-кривые, т.е. графики изменения основного параметра системы от времени, например, изменения грузоподъемности, мощности, надежности и т.п. показателей. Недостаток такой оценки заключается в том, что она слабо связана с конструкцией системы, оценка является количественной, а не качественной.

В настоящей работе предпринята попытка связать эти два подхода, т.е. предлагается строить S-кривую развития технической системы на основании некоторой последовательности патентов, относящихся к этой системе. Математический аппарат для связи количественных и качественных оценок приведен во второй главе, где рассматриваются известные, минимально необходимые положения теории массового обслуживания. В первой главе кратко приведены основные положения патентного права для практического изобретателя, касающиеся, прежде всего, понятия изобретения и его формализации в патентных формулах.

Оригинальный материал, связывающий первую и вторую главы, представлен в главах 3 и 4. В третьей главе последовательность формул изобретений, защищающих техническую систему, рассматривается как система массового обслуживания. Вводится понятие плотности ядра изобретений, для которого и строится дискретная S-кривая развития.

В четвертой главе (параграф 4.1.) последовательность изобретений представляется системой массового обслуживания с отказами, для которой оценивается средняя пропускная способность потока изобретений. Пропускная способность говорит о скорости продвижения коллективной творческой мысли изобретателей в данной области техники.

В параграфе 4.2 предложена информационная математическая модель изобретательской задачи, в которой техническое противоречие рассматривается как двоичный дискретный канал с шумом. Модель позволяет количественно оценить индивидуальную пропускную способность изобретателя при решении конкретной изобретательской задачи.

В основу настоящего пособия положен курс лекций по методам научно-технического творчества и управлению инновационными процессами, читаемый автором в СПбГУ ИТМО, для студентов, обучающихся по специальности «Автоматизация и управление».

Книга также может быть полезна студентам и аспирантам технических университетов для знакомства с методами формализации сложных задач.

Автор выражает свою признательность коллегам и сотрудникам кафедры «Систем управления и информатики» СПбГУ ИТМО, и особенно профессору А.В. Ушакову за консультации при написании параграфа 4.2.

1. Основные понятия практического патентного права

1.1. Патенты на изобретение и полезную модель

Патентное право входит в четвертую часть Гражданского кодекса РФ (глава 72) и образует набор законов защиты интеллектуальной собственности в области техники. Охранным документом является выдаваемый государством патент. Патент можно получить на изобретение, промышленную модель и промышленный образец. Патентом на промышленный образец защищается художественно-конструкторское решение изделия, определяющее его внешний вид, т.е. работа, главным образом, дизайнеров, что не характерно для специальности «Автоматизация и управление». Поэтому патенты на промышленный образец рассматриваться не будут.

Патент – это документ, удостоверяющий исключительное право патентовладельца на изобретение или полезную модель. Исключительное право означает, что без разрешения патентовладельца использовать патент нельзя. Нарушения исключительных прав преследуется государством по закону. За это патентовладелец изобретения платит ежегодную пошлину в течение 20 лет, что является сроком действия патента на изобретение. Срок действия патента на полезную модель – 10 лет (с возможностью продления на три года). Если необходимо использовать патент, то нужно купить лицензию, т.е. право на использование патента.

Лицензия должна быть зарегистрирована в Роспатенте, а конкретно, в Федеральном институте промышленной собственности (ФИПС). ФИПС ведет прием заявок на изобретения и полезные модели, государственную экспертизу заявок на предмет выдачи патентов, учет патентов, сбор патентных пошлин и т.п.

Разрешено без лицензии использовать изобретение или полезную модель в личных целях, без получения коммерческой выгоды.

Не защищаются патентом идеи, математические формулы, программы для вычислительных машин и базы данных, а также решения, противоречащие нормам общечеловеческой морали, условные обозначения, правила игр, расписания.

Владельцем патента может быть частное лицо, в том числе, автор (или соавторы) изобретения, а также юридическое лицо (фирма). Российским патентом от конкурентов защищается продукция, продаваемая на российском рынке. Патенты, которыми обладает фирма, образуют её интеллектуальный потенциал и повышают её рыночную стоимость. Кроме того, фирма, использующая патенты в выпускаемой продукции, имеет ряд налоговых льгот.

1.2. Понятие изобретения и полезной модели

Изобретением называется техническое решение поставленной задачи с достижением положительного результата в любой области, относящееся к продукту (в частности, устройству и веществу) или способу (процессу осуществления последовательности действий или операций над материальным объектом материальными средствами). Но не любое техническое решение может быть запатентовано, т.е. признано изобретением. Изобретение определяется через три критерия: оно должно иметь мировую новизну, иметь изобретательский уровень и быть промышленно применимым.

Изобретение имеет мировую новизну, если оно хотя бы одним признаком отличается от прототипа. Прототип изобретения всегда один, он выбирается из аналогов. Аналогом изобретения называется техническое решение, имеющее ту же функцию, что и изобретение, и имеющее схожие признаки.

Признаки изобретения зависят от того, что защищается патентом – способ или устройство. Способ, как уже указывалось, это процесс действий над материальными объектами при помощи материальных объектов. Например, способ управления самолетом, способ закалки стали, способ настройки оптической системы, способ упаковки телевизора и т.п. Признаки способа обычно разделяются на три группы:

1. наличие действий;
2. последовательность действий;
3. режим выполнения действий, приспособления и инструменты, необходимые для выполнения действий.

В описании изобретения, входящем в состав заявки на изобретение, признаки образуют так называемую формулу изобретения. Формула изобретения составляется по определенным правилам и представляет собой краткое словесное описание изобретения, выражающее его сущность через признаки, позволяющие достичь нужного технического результата.

Признаки наличия действия способа в формуле изобретения записываются в виде глаголов в третьем лице множественного числа, например, «устанавливают», «нагревают», «поднимают», «поворачивают» и т.п. Признаки последовательности действий указывают, как во времени одно действие выполняется относительно другого, например, «нагревают сталь, потом охлаждают». В этом фрагменте формулы три признака: действия - нагрев и охлаждение, и последовательность – охлаждение осуществляется после нагрева. Может также указываться одновременность действий, например, «сталь разливают и охлаждают». Одно действие может осуществляться в перерывах другого, т.е. признаком является некоторая синхронизация разных действий. Признаки режима выполнения способа обычно задаются числами с указанием возможных допусков, например, «сталь нагревают до 500ºС ±20 ºС», потому что точно нагреть до 500 градусов технически невозможно. Пример признака способа «инструменты или приспособления» следующий: «гвоздь забивают молотком» или «гвоздь забивают камнем». Это будут два разных способа, хотя действие одно – «забивают», но инструмент разный.

Для характеристики устройств используются следующие признаки:

1.наличие конструктивного элемента (элементов);

2. наличие связи между элементами;

3. взаимное расположение элементов;

4. форма выполнения элемента (элементов), в частности, геометрическая форма;

5. форма выполнения связи между элементами;

6. параметры и другие характеристики элемента (элементов) и их взаимосвязь;

7. материал, из которого выполнен элемент (элементы); среда, выполняющая функцию элемента.

Пример записи признаков в формуле устройства [2]: Устройство для испытания пьезоэлектрического привода и его элементов, содержащее интерферометрический датчик с отрабатывающим зеркалом, устанавливаемым на штоке пьезодвигателя испытуемого привода, отличающееся тем, что в устройство введены видеокамера и биморфный двигатель, на штоке которого установлено опорное зеркало интерферометрического датчика, оптически сопряженное с видеокамерой, выход которой подключен к входу испытуемого привода, к выходу которого подключен биморфный двигатель.

К признакам «наличие конструктивного элемента (элементов) относятся «интерферометрический датчик», «отрабатывающее зеркало», «пьезодвигатель», «шток», «видеокамера», «биморфный двигатель» и т.д.

Связь между элементами задается признаками» «выход видеокамеры подключен к входу испытуемого привода», «к выходу испытуемого привода подключен биморфный двигатель».

К признакам «взаимное расположение элементов» можно отнести признак «опорное зеркало интерферометрического датчика, оптически сопряженное с видеокамерой». Этот признак указывает, что опорное зеркало и видеокамера установлены на одной оптической оси. С другой стороны, этот признак можно отнести и к группе «наличие связи между элементами», т.е. опорного зеркала и видеокамеры, а форма выполнения связи «оптическая». Также взаиморасположение задает признак «отрабатывающее зеркало, установленное на штоке пьезодвигателя».

К форме выполнения элемента можно отнести, например, признак «интерферометрический датчик с отрабатывающим зеркалом», т.е. не просто «интерферометрический датчик», а датчик с отрабатывающим зеркалом.

Такая форма описания изобретений в виде признаков принята в мировой патентной практике. Она позволяет сравнивать изобретения. Если изобретение отличается от прототипа хотя бы одним из признаков, то оно признается новым, т.е. обладающим критерием новизны. Критерий этот достаточно объективный. Хотя один и тот же элемент в разных изобретениях можно назвать по-разному, например, «вал» и «втулка». Особенно часто такое встречается при переводе иностранных патентов. В таком случае при экспертизе изобретений сравнивается функция, которую выполняют два таких элемента. Если она одинаковая, то признаки считаются одинаковыми, и мировая новизна отсутствует.

При экспертизе изобретений в ФИПСе эксперт сначала проверяет критерий новизны, т.е. сравнивает заявляемое решение с прототипом, с тем, который выбрал автор изобретения. Обычно авторы изобретений, даже начинающие, ошибок здесь не делают, т.е. новые признаки в формулу вводят. Но эксперта этого может оказаться мало, и он может найти свой, другой прототип, который, по его мнению, «порочит» новизну заявляемого решения. В этом случае экспертиза принимает отказное решение, патент не выдается, но обязательно в решении указываются сведения, которые порочат «новизну», например, № патента, российского или иностранного, полностью совпадающего по признакам с заявленным решением и имеющим более раннюю дату заявки, так называемую дату приоритета.

Но для получения патента одной мировой новизна мало. Изобретение должно удовлетворять второму критерию, т.е. иметь изобретательский уровень. Изобретение имеет изобретательский уровень, если оно для специалиста явным образом не следует из уровня техники. Уровень техники включает любые сведения, ставшие общедоступными в мире до даты приоритета изобретения. Сюда включаются патенты, научные публикации, книги и статьи, сведения в Интернете, сведения, оглашенные по радио и телевидению, на публичных лекциях. Одним словом, сведения, доступные не установленному кругу лиц.

Если говорить кратко об этом критерии, то можно сказать, что изобретение имеет изобретательский уровень, если оно неочевидно для среднего специалиста в данной области техники. Критерий этот менее объективный, чем новизна, поскольку не совсем ясно, что такое неочевидность, что такое специалист в данной области техники, каков его объем знаний.

Здесь можно ориентироваться на понятие очевидности. Очевидность – свойство, при котором достигается известный результат известными свойствами. Простой пример очевидности – допустим, заявляется устройство «спичечный коробок» высотой 50±2 см. Прототип имеет высоту 5см. По критерию новизны изобретение проходит. При проверке изобретательского уровня эксперт смотрит, какой технический результат достигается этим отличительным признаком – высотой 50±2 см. Автор изобретения в описании утверждает, что в этом случае в коробок можно поместить больше спичек за счет увеличения его объема.

Экспертиза может ответить так: известно [ссылка на школьный учебник геометрии], что объем параллелепипеда равен произведению его высоты на ширину, и на длину, т.е. $V=h\cdot a\cdot c$. Следовательно, увеличение высоты в 10 раз приводит к известному результату – увеличению объема тоже в 10 раз, поэтому изобретение не имеет изобретательского уровня. В этом примере показательно то, что экспертиза противопоставляет прототипу решение не из области спичечных коробков, а формулу из геометрии, которую, по мнению экспертизы, должен знать средний специалист в технике производства спичек. Возразить тут нечего, экспертиза права. Вот если бы автор изобретения нашел некоторую «выколотую» точку, особенность, перерыв постепенности, нелинейность, например, начиная с некоторой высоты $h > 55$ см, объём параллелепипеда рассчитывается по формуле $V=h^2\cdot a\cdot c$, тогда всё было бы в порядке, и изобретение могло бы претендовать на изобретательский уровень.

Заимствуя очевидное решение из одной области техники в другую, изобретатель должен найти специфику в своей области, при которой заимствованное решение будет неочевидным.

Интересный пример приводил в своих лекциях по патентному праву известный советский изобретатель Р.К. Энглин. Он работал в области морского судостроения, и ему вместе с соавторами довелось защищать изобретение покрытия для деревянных палуб морских судов. Они предложили в состав покрытия добавлять железный сурик, специальную краску, обладающую огнестойким свойством. Первоначально заявка на изобретение экспертизой была отклонена из-за отсутствия «существенных отличий» (так в Советском Союзе назывался критерий, подобный изобретательскому уровню). Экспертиза указала, что давным-давно этой красной краской красят все деревянные привокзальные сооружения для защиты от возгорания. Долго изобретателям пришлось переписываться с экспертизой, пока они не нашли новое свойство этого красного сурика, которое проявилось применительно к их ситуации. Оказалось, что красный сурик защищает деревянные палубы судов от вредного действия микроорганизмов, живущих в морской воде (гниения, обрастания ракушками). Это и были существенные отличия или, как бы сказали теперь, неочевидность, поскольку никто и не задумывался об этом свойстве при окраске деревянных сооружений на суше.

Третий критерий изобретения – промышленная применимость. Считается, что изобретение промышленно применимо, если оно может быть использовано в промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении и других отраслях деятельности.

Для этого изобретение должно быть

1.воспроизводимым, причем неоднократно, в соответствии с формулой и описанием изобретения;

2.работоспособным, не нарушающим физические законы.

Проще говоря, выполнение критерия означает, что по формуле и описанию, изобретение можно выполнить, сделать, как некоторую конструкцию (сооружение), где используется заявляемый способ, или устройство, которое и является этой конструкцией (сооружением).

Полезная модель в отличие от изобретения должна удовлетворять только двум критериям: новизне (мировой) и должна быть промышленно применимой. Критерия изобретательского уровня она не имеет. Кроме того, патентом на полезную модель нельзя защитить способ, только сооружения или конструкции, или попросту, устройства.

1.3. Формула изобретения

При проверке критериев экспертиза принимает во внимание, прежде всего, формулу изобретения. Только формула изобретения имеет юридическую силу, а описание изобретения носит вспомогательный характер, раскрывающий и поясняющий формулу. Такая практика сложилась в результате развития и совершенствования мирового патентного права, которое имеет не одну сотню лет своей истории. За это время были найдены определенные правила описания объектов технического творчества, их формализации, в отличие, например, от произведений художественного творчества, которые защищаются авторским правом. В авторском праве такой формализации нет. Всё содержание произведения художественного творчества и представляет собой «формулу художественного изобретения». В отличие от этого формула изобретения представляет собой изобретательскую модель [3] в области технического творчества, принятую мировым патентным правом. В области художественного творчества такого рода моделей нет.

Формула изобретения или патентная формула (так называют иногда, поскольку формула может принадлежать и полезной модели) составляется по определенным правилам. В Российской Федерации принята так называемая немецкая форма патентной формулы.

Формула записывается в виде одного предложения и имеет две явно выраженные части. Первая часть называется ограничительной, а вторая отличительной. Эти две части разделяет стандартный набор слов «отличающийся (щееся, щаяся) тем, что». Например, патентная формула полезной модели [4], её первый пункт, выглядит следующим образом:

«Пьезоэлектрический привод, содержащий составной пьезопреобразователь, который выполнен в виде набора плоских пьезоэлементов и механически соединен с датчиком положения, выход которого подключен к интегрирующему усилителю, выход которого через обратную связь подключен к электрическому вводу пьезоэлементов, о т л и ч а ю щ и й с я т е м, ч т о, по крайней мере, один из плоских пьезоэлементов электрически изолирован от других плоских пьезоэлементов набора и включен в обратную связь интегрирующего усилителя.»

Формула относится к устройству и начинается с названия патентуемого объекта - «Пьезоэлектрический привод». Далее, до слов «отличающийся тем, что» идет ограничительная часть формулы, которая содержит ограничительные признаки устройства. Ограничительные признаки это такие признаки, которые совпадают у прототипа и у нового, заявляемого решения. Вторая часть содержит отличительные признаки, т.е. такие, которые есть только у нового, заявляемого решения.

Допустим, прототип имеет признаки A, B, C, D, E, F. Новое решение сохраняет ограничительные признаки A, B, D, E. Отличительные признаки пусть G и H. Тогда формула может быть условно записана следующим образом:

«Устройство, содержащее A, B, D, E, отличающееся тем что, добавлены G и H.»

Грубой ошибкой начинающих изобретателей является следующая запись в формуле: «вместо признака C включен (добавлен) признак G». Раз признак C выкинули, так и нечего про него писать. Новый признак G должен органично добавиться к оставшимся (ограничительным) признакам A, B, D, E, чтобы образовать работоспособное устройство.

Формула устройства должна описывать устройство в статике, т.е. в выключенном, не рабочем состоянии. Работа устройства приводится в описании. Поэтому в формуле должны быть глаголы и причастия совершенного вида, например, подключен, установлен, повёрнут и т.п. Из примера - «выход которого через обратную связь подключен к электрическому вводу пьезоэлементов». Если написать ««выход которого через обратную связь подключается к электрическому вводу пьезоэлементов», тогда это и было бы описание работы, действие (движение), выполняемое во времени. Это неправильно. Допускается только указывать возможность действия, например, вал установлен в подшипниках с возможностью осевого перемещения. «Любимым» словом в патентных формулах является слово «который», например, фрагмент формулы – «датчик, выход которого подключен к усилителю, выход которого подключен к обмотке управления электродвигателя, на валу которого установлен редуктор».

Ещё раз заметим, что формула изобретения составляется в виде одного предложения, внутри которого знаки препинания - запятые, в конце предложения - точка. Более подробно правила составления описаний и патентных формул рассматриваются в [5]. Там же приведены особенности составления патентной формулы на способ.

Правильно составить патентную формулу это искусство, искусство технического творчества, заключающееся в разрешении некоторого противоречия. Главная проблема состоит в том, насколько подробно описывать конструкцию, если патентуется устройство. В патентном праве есть такое понятие – существенные признаки, каждый из которых необходим, а всех вместе достаточно для того, чтобы определить изобретение так, чтобы оно обеспечивало достижение поставленного технического результата, например, повышение точности, быстродействия, надежности и т.п. Только не всегда ясно, какие признаки существенные, а какие нет. Дело в том, что изобретение должно быть промышленно применимым, т.е. работоспособным, и если в формулу устройства изобретатель забыл вставить какие-то узлы или детали, без которых устройство работать не будет, то это никуда не годиться, а о достижении технического результата и говорить нечего. Например, фрагмент формулы: «датчик давления, содержащий корпус, в полости которого закреплена мембрана» … и т.д. Затем идут другие, отличительные признаки, за счет которых достигается, например, повышение точности измерения давления, а корпус никак не меняется. Корпус на повышение точности измерений никак не влияет, просто без него нарушается функция устройства – измерять давление. То же самое касается и отличительных признаков, насколько подробно их описывать.

Противоречие при составлении формулы заключается в следующем: чем меньше признаков в формуле, тем она лучше, и наоборот, чем больше признаков в формуле, тем она лучше. Чем меньше признаков, тем менее конкретно описано изобретение, тем больше объём защищаемого решения. Действительно, возьмем, например, формулу устройства в виде одного признака (одного слова), являющегося его названием, «Самолет». Самолет – это совокупность элементов, узлов деталей, т.е. входит в первую группу признаков устройств. Если бы удалось получить патент на такое устройство, то им был бы защищен любой самолет, самолет, как таковой. Тогда всем другим изобретателям самолетов этот патент как бы «перекрывал дорогу», но, главное, кто бы потом не строил самолеты, должен был бы покупать лицензию у владельца патента, как бы самолет не был устроен. Но такого патента получить нельзя, потому что самолет, как таковой, уже существует, поэтому формула из одного слова «самолет» не проходит по новизне. Изобретатель вынужден писать более конкретную формулу, с большим количеством признаков, например, «Самолет, отличающийся тем, что содержит шасси с установленным на нём фюзеляжем, который снабжен крыльями». Здесь уже появляются признаки наличия узлов: шасси, фюзеляж, крылья, и их взаимного расположения. Такой патент тоже защищает достаточно большой объём решений, ибо шасси, фюзеляж и крылья есть у любого самолета. Но опять таки он не проходит по новизне. Поэтому приходиться известные признаки писать в ограничительной части формулы, например, «самолет, содержащий шасси с установленным на нём фюзеляжем, который снабжен крыльями, отличающийся тем, что шасси снабжено колёсами». Такая формула тоже не пройдет по новизне, поэтому изобретателям самолетов приходиться искать всё более конкретную формулу, включающую большое количество признаков. Следовательно, чем больше признаков, тем больше вероятность того, что получится новое решение, и патент будет выдан. Но объем сведений, им защищаемый, будет меньше. Уже упоминавшийся известный изобретатель Р.К. Энглин говорил, что «хорошая формула изобретения должна содержать не более 30 слов», не признаков, а слов, признаков, конечно меньше, потому что «любимое» слово «который», в признаки не входит.

Для облегчения работы изобретателей, которые иногда и сами не знают, насколько конкретно надо составлять формулу, в патентном праве придумана так называемая сложная патентная формула, имеющая несколько пунктов. Первый пункт называется независимым, а остальные - дополнительными. Вот как выглядит патентная формула полезной модели [4].

1. Пьезоэлектрический привод, содержащий составной пьезопреобразователь, который выполнен в виде набора плоских пьезоэлементов и механически соединен с датчиком положения, выход которого подключен к интегрирующему усилителю, выход которого через обратную связь подключен к электрическому вводу пьезоэлементов, отличающийся тем, что, по крайней мере, один из

плоских пьезоэлементов электрически изолирован от других плоских пьезоэлементов набора и включен в обратную связь интегрирующего усилителя.

2. Пьезоэлектрический привод по п.1, отличающийся тем, что электрическая изоляция между плоскими пьезоэлементами выполнена в виде, по крайней мере, одного пьезоэлемента, не подключенного к электрическому вводу пьезоэлементов.

3. Пьезоэлектрический привод по п.2, отличающийся тем, что параллельно интегрирующему усилителю подключен пропорциональный регулятор, а обратная связь выполнена в виде последовательно соединенных сумматора и высоковольтного усилителя.

4. Пьезоэлектрический привод по п.3, отличающийся тем, что датчик положения выполнен в виде последовательно соединенных индуктивного датчика и усилителя рассогласования.

Дополнительные пункты 2, 3 и 4 конкретизируют первый, независимый пункт формулы. При экспертизе на новизну эксперт проверяет сначала первый пункт формулы. Если окажется, что это не новое решение, тогда к первому пункту как бы добавляется второй пункт, и уже рассматривается новизна совокупности первых двух пунктов и т.д. В патенте на первый, реально летавший самолет братьев Райт, было 17 пунктов формулы изобретения.

Есть еще одна возможность, защищать не всё устройство, а какой-то один элемент его, без которого всё устройство работать не будет. Классический пример в истории патентного права - патент Э.Гау младшего [6], который в 1846 году запатентовал машинную иглу для шитья, отличающуюся тем, что ушко для нитки находилось на острие иглы, а не на противоположном конце, как было у иголок для ручного шитья. И.М. Зингер купил лицензию на эту машинную иглу в 1852 году, и создал свою известную «империю» по производству швейных машинок. Кроме того, фирма Зингера купила лицензию на патент Дж.Бачелора, который в 1849 году запатентовал вертикальное движение иглы, непрерывный привод от колеса или через ременную передачу, и прижимную лапку для тяги. Э.Гау младший, основной изобретатель, за каждую проданную в Америке машинку получал 5 долларов, а машинка, проданная за границей, давала дополнительно еще 1 доллар. Какие бы конструкции швейных машинок не придумывали потом другие изобретатели, без иглы Э.Гау младшего они обойтись не могли, приходилось покупать лицензию у Э.Гау, и он в общей сумме получал 25 долларов дохода за каждую проданную швейную машину. Между прочим, иглу с ушком на острие и челнок в 1834 году уже использовал американец В.Хант, но он не подал своевременно патент на свою швейную машину.

В заключение отметим, что сложная или многозвенная формула получается также, когда в одном патенте защищается одновременно способ и устройство. Это допускается, если они связаны одним изобретательским замыслом. Может даже быть и три объекта, например, «Способ выплавки стали, печь для выплавки и сталь, выплавляемая в печи». В способе защищается технология выплавки (действия), печь защищается как конструкция (из чего состоит), а сталь, как сплав, защищается процентным содержанием своих компонентов (сколько железа, углерода и других добавок). Тогда в формуле изобретения будет три независимых пункта, а к ним еще могут быть дополнительные пункты. Далее приведен пример многозвенной формулы [7].

1. Способ формирования потока горючей смеси в карбюраторах двигателей внутреннего сгорания, заключающийся в подаче воздуха и топливовоздушной эмульсии в продольный проточный канал диффузора и завихрении потока в нижней части проточного канала путем закручивания потока струями воздуха вокруг продольной оси проточного канала, отличающийся тем, что вихрь потока рассекают сверху струей воздуха под наклоном к продольной оси проточного канала.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что вихрь рассекают струей в плоскости продольных осей проточного и топливоподводящего каналов.

3. Способ по пп. 1 и 2, отличающийся тем, что поток закручивают круглыми в поперечном сечении струями.

4. Малый диффузор для формирования потока горючей смеси в карбюраторах двигателей внутреннего сгорания, содержащий корпус с ребрами, распылителем, топливоподводящим каналом в ребре и продольным проточным каналом с завихрителем, выполненным в нижней части корпуса проточного канала сквозными отверстиями, расположенными по меньшей мере в один ярус и наклонно к

продольной оси проточного канала, отличающийся тем, что другое ребро снабжено наклоненным к продольной оси проточного канала воздухоподводящим каналом, выход которого в проточном канале расположен выше выходов отверстий завихрителя.

5. Малый диффузор по п. 4, отличающийся тем, что оси проточного, топливо- и воздухоподводящего каналов пересекаются в одной плоскости.

6. Малый диффузор по пп.4 и 5, отличающийся тем, что отверстия завихрителя выполнены круглыми в поперечном сечении.

7. Малый диффузор по п. 6, отличающийся тем, что оси отверстий завихрителя наклонены к продольной оси проточного канала на один и тот же угол в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

8. Малый диффузор по п. 6, отличающийся тем, что оси отверстий завихрителя направлены по касательной к условной конической поверхности, параллельной внутренней конической поверхности проточного канала и отстоящей внутрь от стенок проточного канала на 0,1 - 0,25 наименьшего диаметра конической поверхности проточного канала.

Пункты 1 и 4 являются независимыми, а остальные – дополнительными.

1.4. Международная патентная классификация и системы экспертизы

В 1883 году ведущие, промышленно развитые страны мира подписали Парижскую конвенцию по охране промышленной собственности. С этого времени началась организованная стандартизация в области патентного права, выработка единых критериев изобретений, а также становление международной классификации патентов. Долго еще действовали национальные системы классификации патентов, но постепенно международная патентная классификация (МПК) набирала силу, и многие страны начали переходить на неё. Пожалуй, дольше всех сопротивлялись Соединенные Штаты Америки, но и они были вынуждены присоединиться к МПК. Первая редакция МПК оформилась в соответствии со Страсбургским соглашением (1971 год), время от времени происходит её редактирование в соответствии с развитием техники. Работа эта ведется в рамках Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС), действующей под эгидой ООН.

Для изобретателя МПК прежде всего необходима для поиска аналогов изобретения или полезной модели, а из аналогов уже выбирается прототип. Кроме того, изобретатель проверяет сам свое изобретение на новизну, вдруг подобное решение уже есть.

В соответствии с МПК все патенты разделены на 8 разделов:

Раздел A. Удовлетворение жизненных потребностей человека

Раздел B. Технологические процессы, транспортировка

Раздел C. Химия, металлургия

Раздел D. Текстиль, бумага

Раздел E. Строительство, горное дело

Раздел F. Механика, двигатели, освещение, отопление

Раздел G. Физика

Раздел H. Электричество.

Изобретатель в своей заявке на изобретение, которая подается в ФИПС на предмет получения патента, обязан привести указатель (индекс) МПК, состоящий из набора латинских букв и цифр. Указатель записывается в описании изобретения, перед заглавием. Когда патент получен, то указатель МПК приводится на титульном листе описания патента. Для примера на рис.1.1 приведен титульный лист авторского свидетельства СССР [8].

Индекс МПК приведен во второй строке описания под номером (51): G 05 D 16/00. Первая буква указывает, что изобретение относится к разделу G - физика. Прибавление следующих двух цифр означает класс в разделе физика: G 05 – управление, регулирование. Измерение, испытание относится к классу G01. Класс G02 – это оптика, класс G06 – вычисление, счет, в этот класс входят патенты по вычислительной технике. Прибавление следующей латинской буквы дает подкласс, G 05 D - системы управления или регулирования неэлектрических величин, а, например, подкласс G 05F - регулирование электрических и магнитных переменных величин.

В классе G01 буква подкласса означает, какие конкретно физические величины измеряются, например, G01B - измерение длины, толщины или подобных линейных размеров; измерение углов; измерение площадей; G01C - измерение расстояний, горизонтов или азимутов; навигация; гироскопические приборы; G01K - измерение температуры и количества тепла; G01S - радиопеленгация; радионавигация.

СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1833850 A1

(51)5 G 05 D 16/00

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО СССР
(ГОСПАТЕНТ СССР)

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4949716/24
(22) 27.06.91
(46) 15.08.93. Бюл. № 30
(71) Ленинградский институт точной механики и оптики
(72) А.Б. Бушуев, В.В. Григорьев и А.В. Смирнов
(56) Авторское свидетельство СССР № 1068410, кл. G 05 D 16/00, 1982.
Авторское свидетельство СССР № 1566330, кл. G 05 D 16/00, 1988.

(54) СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Изобретение касается автоматического регулирования и может использоваться для поддержания с требуемой точностью заданной величины пониженного давления газа. Цель изобретения – упрощение, повышение надежности и точности способа регулирования давления газа и устройства для его осу-

2

ществления. Способ включает изменение расхода газа в зависимости от перемещения термочувствительной мембраны, которую нагревают путем воздействия на мембрану излучением, которое пропускают через стенку из оптического материала со сквозной пористостью, причем стенку смачивают жидкостью. Устройство, реализующее указанный способ, содержит корпус 1, между входной 2 и выходной 3 полостями которого установлен регулирующей орган в виде стенки 4 (например, линзы) из оптического материала со сквозной пористостью с возможностью смачивания стенки жидкостью, а между выходной 3 и дополнительной 6 полостями установлена термочувствительная мембрана 5, а также источник 7 излучения, установленный перед прозрачным окном 8 корпуса 1. Входная и выходная полости снабжены соответственно входным 9 и выходным 11 патрубками. 2 с. и. 1 з. п. ф-лы, 1 ил.

Рис. 1.1. Титульный лист авторского свидетельства

Наконец, последние цифры в индексе указывают на группу/подгруппу, т.е. более мелкие градации, иногда, даже до особенностей конструкции. Так индекс G 05 D 16/00 означает управление или регулирование давления вообще. Индекс, например, G05D 16/06 – это управление и регулирование давления в системах, в которых чувствительный элемент является гибким, пружинящим элементом, воспринимающим давление, (диафрагмы, сильфоны, мембраны), а G05D 16/10 - с чувствительным элементом поршневого или плунжерного типа. Более подробно с МПК можно познакомиться на сайте ФИПСа.

Кроме индекса на титульном листе под номером (19) указывается сокращенное наименование страны, в которой запатентовано изобретение, SU – Советский Союз, RU – Российская Федерация, US – США, JP – Япония, GB – Великобритания, DE – ФРГ, FR – Франция, CN – КНР, буквами EP маркируется патент, действующий на территории ЕЭС.

Под номером (11) приводится номер патента. В разных странах принята разная система нумераций, например, перед номером ставятся буквы страны патентования. Россия продолжает нумерацию патентов, которая была начата в СССР. Изобретение СССР, имеющее № 1, было заявлено в 1921 году, а охранный документ был выдан в 1924 году. В СССР основным охранным документом был не патент, а авторское свидетельство, главное его отличие в том, что изобретение, им защищаемое, принадлежало государству.

Под номером (21) указывается порядковый номер заявки, например, 4949716/24, а под номером (22) – так называемая дата приоритета 27.06.91, условно говоря, дата новизны, когда заявленное решение, даже ещё не запатентованное, становится известным не только его авторам. Именно об этой дате говорят и спорят, выясняя первенство авторов на изобретение. Число после знака дроби (в данном случае 24) означает номер отдела в ФИПСе, в который заявка поступила на экспертизу

Под номером (46) приводится дата регистрации 15.08.93 изобретения в Государственном реестре изобретений, и номер (Бюл. № 30) официального бюллетеня «Изобретения. Полезные модели», в котором публикуются сведения об изобретении. На сайте ФИПС официальный бюллетень представлен в электронном виде.

Под номером (71) публикуются сведения о заявителе, а под номером (72) указываются авторы или авторы изобретения.

Под номером (56) приводятся сведения об аналогах изобретения, последним в списке приводится прототип. Номер (54) обозначает название изобретения, а (57) – реферат, или краткие сведения об изобретении. В качестве реферата может быть приведена патентная формула.

В российских патентах номер заявки начинается с года, когда заявка поступила в ФИПС, например, 2011103009/12 означает, что заявка поступила в 2011 году, и её порядковый номер в этом году 103009.

В состав заявки на изобретение или полезную модель входят:

1. документ об уплате заявочной пошлины,

2. заявление на выдачу патента,

3. описание изобретения с патентной формулой,

4. реферат,

5. чертежи.

Могут прикладываться и другие документы, например, акт об испытании опытного образца.

Отметим, что все обозначения на титульных листах патентов всех стран, использующих МПК, одинаковы. Патент публикуется на языке той страны, которая выдает патент. И если даже патент напечатан японскими иероглифами, то в нем всё равно будет арабскими цифрами (54) обозначен текст с названием изобретения, чтобы сразу было понятно, что надо переводить на русский язык.

После поступления материалов заявки в ФИПС производится их экспертиза. В мире приняты три типа систем экспертизы:

1.проверочная,

2.отложенная или отсроченная,

3. явочная.

Главной особенностью проверочной системы экспертизы является то, что материалы заявки, как говорят, проверяются «по существу», т.е. по всем трем критериям. И в случае выполнения критериев выдается патент на изобретение. Такая система экспертизы принята в США, а раньше была в СССР.

Явочная система экспертизы действует в России для полезных моделей. Заявка в этом случае проходит так называемую формальную экспертизу. Проверяется наличие и правильность оформления всех материалов заявки, проверяется, что за объект заявлен, разрешено только сооружение или конструкцию, один ли объект заявлен, несколько в одном патенте не допускается и т.п. Экспертиза практически в суть заявки не вникает и на критерии её не проверяет. В случае успешности формальной экспертизы выдается патент на полезную модель. Такая экспертиза проходит достаточно быстро, примерно в течение 4 месяцев. Необходимо иметь в виду, что патент на полезную модель патентовладелец получает на свой страх и риск. Пока действует срок патента, его могут опротестовать. Вот тогда заявка и проверяется по существу, по критериям новизны и промышленной применимости. В случае их отсутствия патент аннулируется, уплаченная пошлина не возвращается, да еще необходимо нести издержки за нарушение чужого патента.

В отношении изобретений в России действует вторая система экспертизы, отложенная или отсроченная. Заключается она в том, что после прохождения формальной экспертизы заявка получает временную защиту и публикуется, хотя и не полностью. Экспертиза по существу откладывается на срок 3 года. За это время заявитель может провести исследования рынка с целью продажи лицензий, либо сам начать дело по производству техники, защищаемой предполагаемым патентом. Пошлина за эти три года не платится. По истечении трех лет (или раньше, по просьбе заявителя) производится экспертиза по существу, и выдается патент, если всё в порядке. Тогда приходится заплатить пошлину за эти три года, и дальше поддерживать патент в случае необходимости. Неуплата пошлины в положенный срок ведет к утрате патента.

2.Системы массового обслуживания

2.1. Основные понятия

Первые работы по системам массового обслуживания (СМО) появились в 20-х годах прошлого века и были связаны с вопросами проектирования и эксплуатации телефонных станций. Теорией этого вопроса занимался датский ученый А. К. Эрланг. Тогда было необходимо решать вопросы о том, сколько станций строить, сколько на них должно работать телефонисток, поскольку станции были неавтоматическими, и коммутация абонентов осуществлялась вручную.

Очень важную роль в создании уже теории массового обслуживания (ТМО) в 50-х годах сыграл советский ученый А. Я. Хинчин [9]. Собственно это он ввел термин «теория массового обслуживания», который привился во всем мире. Методы ТМО широко стали использоваться в других науках: « Теория восстановления», «Теория надежности», «Теория управления запасами», «Теория случайных импульсных потоков» и многих других. Вообще же методы ТМО используются в промышленности, на транспорте, в связи, экономике, военном деле и др.

Задачи массового обслуживания возникают, когда появляется массовый спрос на обслуживание какого-либо специального вида, обычно при ограниченных возможностях обслуживающей организации. Очереди в магазинах, в учреждениях за различными справками, на телефонных станциях, когда занят ваш абонент, скопление судов в порту в ожидании разгрузки, простой станков в цеху в ожидании ремонта, случайный поток импульсов, поступающих на обработку в прибор, и многое другое – примеры подобных ситуаций.

Отметим особенности систем массового обслуживания.

1.Все задачи связаны с обслуживанием <u>клиентов,</u> т.е. покупателей, телефонных звонков, судов, станков, импульсов и т.п. Обслуживание может пониматься очень широко, например, зенитно-ракетный комплекс систем ПВО «обслуживает» самолеты противника своим огнем. Можно даже сказать, что живой организм, рождаясь, поступает на обслуживание жизнью, после обслуживания которой, он умирает.

2. Возможные задержки в обслуживании связаны с массовостью клиентов.

Первым вопросом, который возникает при проектировании СМО, является вопрос о качестве обслуживания. Если при индивидуальном обслуживании клиенту важно, как ему отремонтировали холодильник, то при массовом обслуживании первостепенное значение имеет совсем другое качество – качество организации обслуживания как процесса. Поэтому и оценки здесь совсем другие, например, время ожидания в очереди, время обслуживания, вероятность получить отказ на обслуживание, время простоя обслуживающей системы, количество обслуживающего персонала и некоторые другие.

Можно сказать, что индивидуальное обслуживание скорее характеризует качественную сторону обслуживания, а массовое обслуживание – скорее количественную сторону обслуживания, причем массовое обслуживание характеризуется динамическими характеристиками, т.к. процессы обслуживания протекают во времени.

Основные задачи, решаемые ТМО:

1.Анализ – определение показателей качества уже существующей СМО.

2.Синтез СМО на заданное качество.

В соответствии с [10] кратко рассмотрим математический аппарат ТМО, необходимый для задач оценки уровня развития техники.

2.2. Состав СМО

В СМО входит вся совокупность объектов, участвующих в обслуживании, причем различного физического характера. Важнейшими объектами в СМО являются:

1.Требование (или заявка) - это запрос на обслуживание клиента. Требование может быть как в интересах клиента, так и обслуживающей организации. Потоком требований называется их последовательность, чаще всего, случайная.

2.Обслуживающее устройство (канал, прибор, линия, аппарат, клерк и т.п.) – устройство, обслуживающее заявки. Обслуживающее устройство в любой момент времени может обслуживать только одно требование. Потоком обслуживания называется последовательность обслуживаемых заявок.

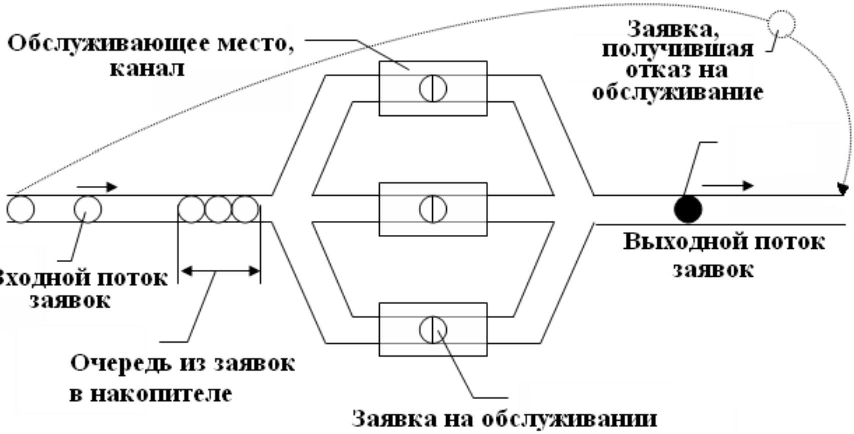

Рис. 2.1. Простейшая функциональная модель СМО

На рис.2.1 представлена трехканальная СМО. Входной поток заявок поступает на три обслуживающих устройства (канала). Если все каналы заняты, то в СМО с ожиданием заявки становятся в очередь в накопителе. Если СМО без ожидания, то заявка при всех занятых каналах покидает систему, получая отказ на обслуживание, т.е. сразу же попадает в выходной поток (показано штриховой линией). Выходной поток складывается из потоков обслуживания каналов и заявок, получивших отказ на обслуживание.

Чтобы математически описать СМО, необходимо задать три основных элемента СМО: входной поток, поток обслуживания и дисциплину очереди.

Входной поток рассматривается как случайный поток событий. Случайным событием может быть время поступления заявки. Графически входной поток I(t) изображается последовательностью бесконечно коротких импульсов, следующих в случайные моменты времени (рис.2.2).

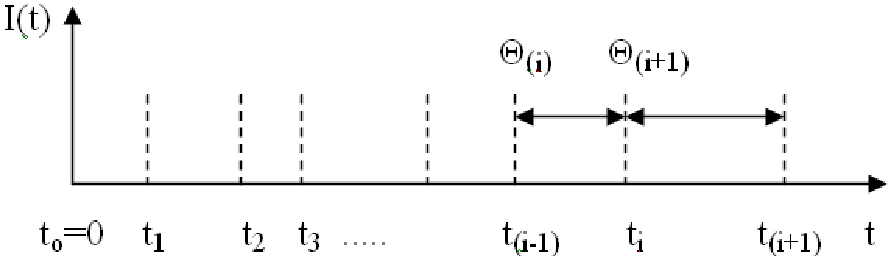

Рис. 2.2. Случайный входной поток событий

Случайными величинами будут и промежутки времени Θ(i) между требованиями. Поэтому случайный поток иногда задается и законом распределением случайных величин Θ(i).

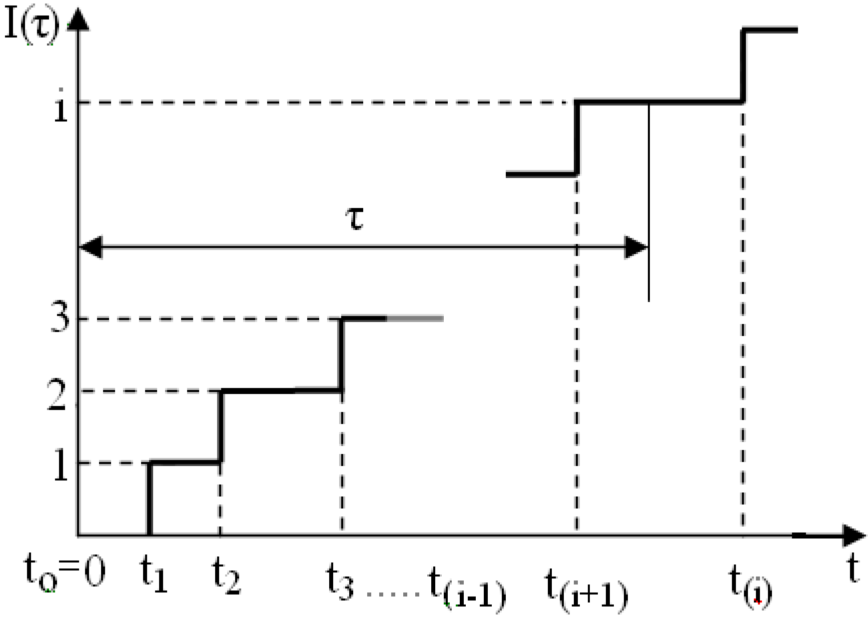

Рис. 2.3. Входной поток, заданный числом событий за время τ

Кроме того, входной случайный поток может быть задан и законом распределения числа заявок, поступивших за определенное время τ (рис.2.3). Например, на рис.2.3 за время τ пришло i-штук заявок. Необязательно задавать начало промежутка τ при t=0. Отрезок τ можно выбрать в любом месте оси времени.

Для вероятностного описания потока необходимо задавать n-мерные законы распределения случайных величин $t_1, t_2, \ldots t_i \ldots t_n$, что весьма сложно. Однако для многих практически важных случаев модели входных потоков можно свести к более простому описанию, в частности, входной поток можно считать пуассоновским.

2.3. Закон распределения Пуассона

Этот закон является часто используемой моделью распределения случайной дискретной величины, используемой для описания входных потоков СМО. Отметим, что он справедлив только для марковских случайных процессов, т.е. когда вероятность i-го события зависит только от i-1 события и не зависит от i-2, i-3... событий. Это называется ограниченным последействием, когда вся информация о прошлом системы находится в ее начальных условиях.

<u>Определение</u>. Случайная величина X называется распределенной по закону Пуассона, если она принимает дискретные значения m из ряда чисел 0,1,2.... с вероятностью

$$p_m = p(X = m) = \frac{a^m}{m!} e^{-a},$$

где величина a=$\lambda\tau$, т.е.

$$p_m = p(X = m) = \frac{(\lambda\tau)^m}{m!} e^{-\lambda\tau}.$$

Закон распределения Пуассона относится к классу редких случайных событий. Что же это означает?

Рассмотрим последовательность событий, следующих друг за другом через случайные промежутки времени. Число таких событий за время τ будет случайной величиной с математическим ожиданием a=λτ, где a – математическое ожидание числа заявок за время τ, тогда $\lambda = \dfrac{a}{\tau}$, где λ называется средней интенсивностью входного пуассоновского потока и измеряется в количестве требования за единицу времени. Отметим, что для закона Пуассона не только математическое ожидание равно a, но и дисперсия также равна величине a.

Если взять малый промежуток времени τ=Δ*t* на оси времени от *t* до *t*+Δ*t*, то вероятность поступления одного требования в интервале Δ*t* равна $p_1 = \lambda \Delta t$ и не зависит от *t*, а вероятность поступления двух или более требований очень мала, ею обычно можно пренебречь. Докажем это положение.

При *m*=0 получаем вероятность того, что в интервале τ=Δ*t* не произойдет ни одного события

$$p_{m=0} = p(X = 0) = e^{-\lambda\tau}\ .$$

При *m*=1 получаем вероятность того, что за время τ произойдет ровно одно событие

$$p_{m=1} = p(X = 1) = \lambda\tau \cdot e^{-\lambda\tau}\ .$$

Например, при соотношении между интенсивностью потока λ и выбираемой продолжительностью отрезка τ таких, что их произведение равно λτ=0.01 получаем вероятность того, что на интервале τ не поступит ни одного требования:

$$p_{m=0} = e^{-\lambda\tau} = e^{-0.01} = 0.99 \approx 1.$$

Вероятность поступления одной заявки равна:

$$p_{m=1} = \lambda\tau \cdot e^{-\lambda\tau} = 0.01 \cdot 0.99 = 0.0000 \approx \lambda\tau = 0.01.$$

Таким образом, при заданной интенсивности входного потока можно выбирать промежуток τ так, чтобы поступление заявки на этом промежутке было действительно редким событием, а вероятность ее поступления прямо пропорциональна длительности τ ($p_1 \approx \lambda\tau$).

Найдем также вероятность того, что на интервале τ поступит более одной заявки:

$$p_{m>1} = 1 - p_{m=0} - p_{m=1} = 1 - e^{-\lambda\tau} - \lambda\tau \cdot e^{-\lambda\tau} = 1 - [\frac{(-\lambda\tau)^0}{0!} + \frac{(-\lambda\tau)^1}{1!} +$$
$$\frac{(-\lambda\tau)^2}{2!} + ...] - \lambda\tau[\frac{(-\lambda\tau)^0}{0!} + \frac{(-\lambda\tau)^1}{1!} + \frac{(-\lambda\tau)^2}{2!} + ...] = 1 - 1 + \lambda\tau -$$
$$- \frac{(\lambda\tau)^2}{2} + ... - \lambda\tau + (\lambda\tau)^2 - \frac{(\lambda\tau)^3}{2} + ...$$

Если $(\lambda\tau)^2 \le \frac{\lambda\tau}{10}$, то произведение λτ в квадрате будет иметь второй порядок малости по сравнению с λτ, и им можно пренебречь, тем более можно пренебречь произведением λτ в кубе и т.д. Тогда вероятность поступления на интервале τ более одного требования будет близка к нулю. Из последнего неравенства следует, что при этом $\lambda\tau \le 0.1$. Например, при интенсивности входного потока $\lambda = 10$ заявок/с получаем $\tau \le 0.01$ с. Разбивая время следования входного потока на интервалы $\tau = \Delta t \le 0.01$ с, получим, что на каждом из интервалов может поступить лишь одна заявка, либо ни одной. Теоретически возможное поступление на интервале τ более одной заявки, вызывает конфликт о первоочередности среди таких заявок. Поэтому практически и пренебрегают вероятностью поступления более одной заявки. Это позволяет выстроить очередь заявок в СМО с ожиданием.

Крайний случай закона распределения Пуассона получается тогда, когда на интервале τ может случиться только одно событие, или не произойти ни одного события. Такой закон распределения случайных событий называется экспоненциальным законом распределения. Для этого закона

$$p_{m=0} = e^{-\mu\tau}, p_{m=1} = 1 - e^{-\mu\tau},$$

где μ – средняя интенсивность случайных событий, 1/с.

Экспоненциальный закон используется для приближенного описания случайного потока обслуживания в одном канале. Действительно, обслуживающее место или свободно, или занято обслуживанием заявки.

Случайной величиной может быть время обслуживания. Вероятность p_1 означает вероятность окончания обслуживания очередного требования в интервале τ=Δ*t*. Величина μ для этого случая равна среднему числу заявок, обслуженных в единицу времени. Аналогично рассмотренному ранее закону Пуассона, для $\mu\tau \leq 0.1$ можно считать, что $p_1 \approx \mu\tau = \mu\Delta t$. Действительно, нетрудно получить следующее соотношение:

$$p_{m=1} = 1 - e^{-\mu\tau} = 1 - [\frac{(-\mu\tau)^0}{0!} + \frac{(-\mu\tau)^1}{1!} + \frac{(-\mu\tau)^2}{2!} + \ldots] = 1 - 1 + \mu\tau -$$

$$- \frac{(\mu\tau)^2}{2} + \ldots \approx \mu\tau$$

Отметим, что кроме пуассоновских потоков в СМО могут быть и другие модели входных потоков и потоков обслуживания, например, потоки Эрланга и др.

Дисциплина очереди или обслуживания определяется порядком обслуживания или приоритетом. Наиболее известны порядки: первым пришел – первым обслужили, последним пришел – первым обслужили. Иногда возможно обслуживание вне очереди – при оплате за срочность или при наличии привилегий у клиента.

2.4. Дифференциальные уравнения СМО

Динамические модели СМО, как и модели систем автоматического управления, могут быть получены в виде системы дифференциальных уравнений, связывающих входные и выходные величины системы. Для дифференциальных уравнений СМО входными и выходными величинами являются некоторые вероятности как функции времени.

Обозначим через $S(i)$ состояние системы МО, означающее наличие очереди из i-заявок (i = 0,1,2...), а через $p_i(t)$ – вероятность того, что во время t система находится в состоянии $S(i)$. Найдем изменение этой вероятности $\Delta p_i(t)$ за малый интервал времени τ=Δ*t*, следующий непосредственно за t. Пусть λ_i и μ_i интенсивности потоков требований и обслуживания системой в состоянии $S(i)$, т.е. в общем случае интенсивности потоков зависят от длины очереди i.

Рассмотрим большое число N идентичных систем МО. Из них в момент времени t часть систем находится в состоянии $S(i\text{-}1)$, часть – в состоянии $S(i)$, а часть – в состоянии $S(i+1)$. Так как мы приняли, что случайные потоки относятся к классу Марковских потоков, то достаточно рассмотреть тройку любых подряд следующих состояний (рис. 2.4).

Например, пусть N=100, из них число систем с длиной очереди i равно 35, число систем с длиной очереди i-1 равно 25, число систем с длиной очереди i+1 равно 40. Тогда вероятность нахождения СМО в состоянии $S(i\text{-}1)$ равна

$$p_{\text{i-1}}(t) = \frac{25}{100} = 0.25\,,$$

а число систем в состоянии $S(i\text{-}1)$ соответственно, равно

$$p_{\text{i-1}}(t)\cdot N = 0.25\cdot 100 = 25\,.$$

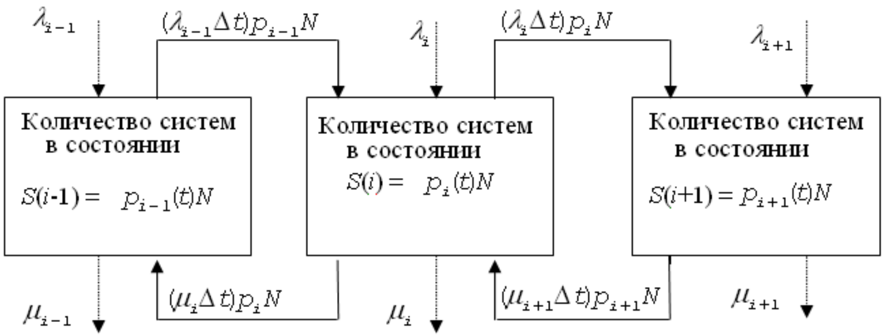

Рис. 2.4. Состояния системы массового обслуживания

Вероятность нахождения СМО в состоянии $S(i)$ равна

$$p_{\text{i}}(t) = \frac{35}{100} = 0.35\,,$$

а число систем в состоянии $S(i)$ соответственно равно

$$p_{\mathrm{i}}(t)\cdot N = 0.35\cdot 100 = 35\,.$$

Вероятность нахождения СМО в состоянии $S(i+1)$ равна

$$p_{\mathrm{i+1}}(t) = \frac{40}{100} = 0.4\,,$$

а число систем в состоянии $S(i+1)$ соответственно равно

$$p_{\mathrm{i+1}}(t)\cdot N = 0.4\cdot 100 = 40\,.$$

Таким образом, число систем в определенном состоянии равно произведению соответствующей вероятности на общее число систем.

На рис. 2.4 системы в состоянии $S(i\text{-}1)$ находятся в левом квадрате, системы в состоянии $S(i)$ – в среднем квадрате, а системы в состоянии $S(i+1)$ – в правом квадрате. Входные потоки заявок с интенсивностями λ обозначены штриховыми стрелками, потоки обслуженных заявок показаны штриховыми стрелками с интенсивностями μ. При поступлении каждой очередной заявки на вход любого из квадратов, одна из систем увеличивает свою очередь на единицу, поэтому она (система) должна перейти в соседний правый квадрат. Также если закончится обслуживание одной из систем в любом квадрате, очередь у этой системы уменьшится на единицу, эта система переходит в соседний левый квадрат. Переходы систем показаны сплошными стрелками.

Вероятность поступления новой заявки (т.е. p_1) на интервале $\tau=\Delta t$, как уже установлено ранее, равна:

на системы в состоянии $S(i\text{-}1)$ $\lambda_{i-1}\Delta t$,

на системы в состоянии $S(i)$ $\lambda_i\Delta t$.

Аналогично вероятность окончания обслуживания за время Δt равна:

в системах в состоянии $S(i)$ $\mu_i\Delta t$,

в системах в состоянии $S(i+1)$ $\mu_{i+1}\Delta t$.

Тогда увеличение количества систем в состоянии $S(i)$ за счет перехода из состояния $S(i\text{-}1)$ также определяется как произведение количества систем, находящихся в состоянии $S(i\text{-}1)$ на соответствующую вероятность перехода (или вероятность поступления новой заявки):

$$(\lambda_{i-1}\Delta t)\, p_{i-1} N \,.$$

Аналогично уменьшение количества систем в состоянии $S(i)$ за счет перехода в состояние $S(i+1)$ также определяется как произведение количества систем, находящихся в состоянии $S(i)$ на соответствующую вероятность перехода (или вероятность поступления новой заявки

$$(\lambda_i \Delta t)\, p_i N \,.$$

Эти величины представлены на рис.2.4 сплошными стрелками переходов.

Точно также определяется уменьшение количества систем в состоянии $S(i)$ за счет окончания обслуживания одной из систем $S(i)$

$$(\mu_i \Delta t)\, p_i N \,,$$

и увеличение количества систем в состоянии $S(i)$ за счет окончания обслуживания одной из систем $S(i+1)$

$$(\mu_{i+1}\Delta t)\, p_{i+1} N \,.$$

Тогда общее изменение количества систем в состоянии $S(i)$ с учетом знака на увеличение и уменьшение равно:

$$\begin{aligned} &\Delta p_i(t)N = -\lambda_i \Delta t p_i(t)N + \lambda_{i-1}\Delta t p_{i-1}(t)N - \\ &- \mu_i \Delta t p_i(t)N + \mu_{i+1}\Delta t p_{i+1}(t)N \end{aligned} \,.$$

Делим левую и правую части на Δt и на N:

$$\frac{\Delta p_i(t)}{\Delta t} = -\lambda_i \Delta t p_i(t) + \lambda_{i-1}\Delta t p_{i-1}(t) - \mu_i \Delta t p_i(t) + \mu_{i+1}\Delta t p_{i+1}(t) \,.$$

Переходя в левой части к пределу при $\Delta t \to 0$, получаем производную:

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = -\lambda_i p_i(t) + \lambda_{i-1} p_{i-1}(t) - \mu_i p_i(t) + \mu_{i+1} p_{i+1}(t).$$

Таким образом, получаем систему линейных дифференциальных уравнений относительно $p_i(t)$:

$$\frac{dp_i(t)}{dt} + (\lambda_i + \mu_{\mathrm{i}}) p_i(t) = \lambda_{i-1} p_{i-1}(t) + \mu_{i+1} p_{i+1}(t),$$

Схема моделирования системы для некоторого *i* приведена на рис. 2.5.

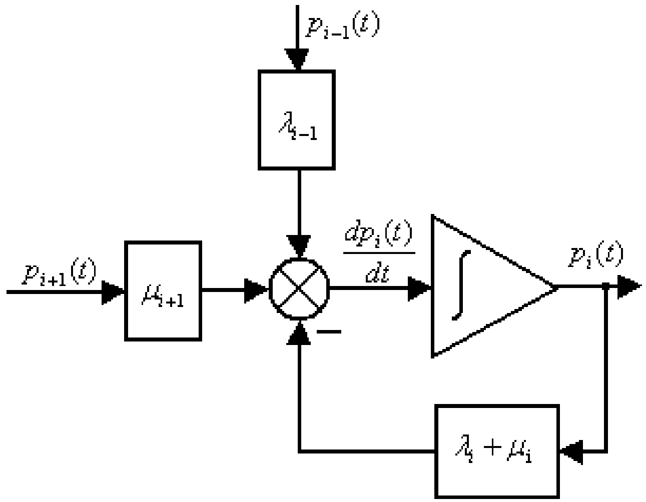

Рис. 2.5. Схема моделирования для вероятности $p_i(t)$

Входными величинами являются вероятности $p_{i-1}(t)$ и $p_{i+1}(t)$. Величины λ и μ с соответствующими индексами являются коэффициентами дифференциальных уравнений.

Отметим, что полученная система уравнений справедлива только для *i* =1,2,3... Для длины очереди *i* = 0 эти уравнения не справедливы, поскольку не может быть состояния *S*(*i*-1), т.е. отрицательной длины очереди. Поэтому получим уравнение для *i* = 0 (рис. 2.6).

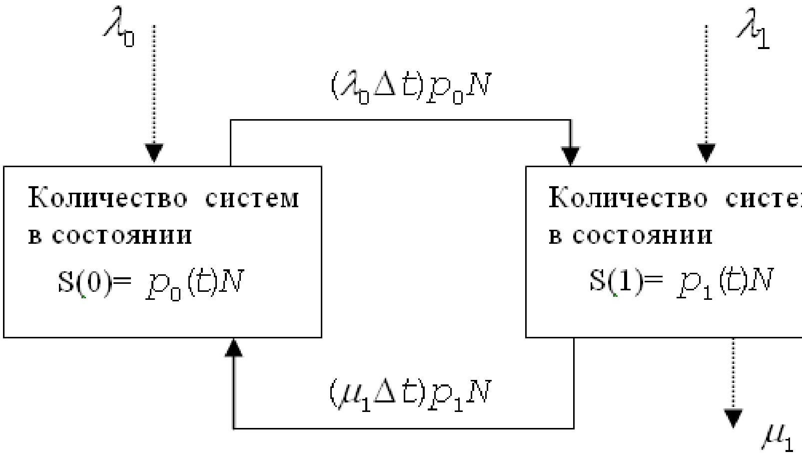

Рис. 2.6. Начальные состояния системы массового обслуживания

Изменение количества систем в состоянии $S(0)$ за счет поступления новой заявки и окончания обслуживания в одной системе в состоянии $S(1)$ равно:

$$\Delta p_0(t)N = -\lambda_0 \Delta t p_0(t)N + \mu_1 \Delta t p_1(t)N .$$

Деля на Δt и на N и переходя к пределу, получаем дифференциальное уравнение для $i = 0$:

$$\frac{dp_0(t)}{dt} + \lambda_0 p_0(t) = \mu_1 p_1(t) .$$

Дифференциальные уравнения СМО для $i = 0$ и $i = 1,2,3...$ часто называются уравнениями «размножения и гибели», так как, помимо всего прочего, описывают развитие биологических популяций.

Решать такие уравнения совсем не просто. Действительно, чтобы решить уравнение для $p_0(t)$, надо знать изменение во времени $p_1(t)$. Для нахождения же $p_1(t)$ надо знать изменение во времени $p_0(t)$ и $p_2(t)$. Получается замкнутый круг. Однако такие уравнения определенным образом решаются, и примерный график изменения какой-то i-й вероятности во времени представлен на рис. 2.7.

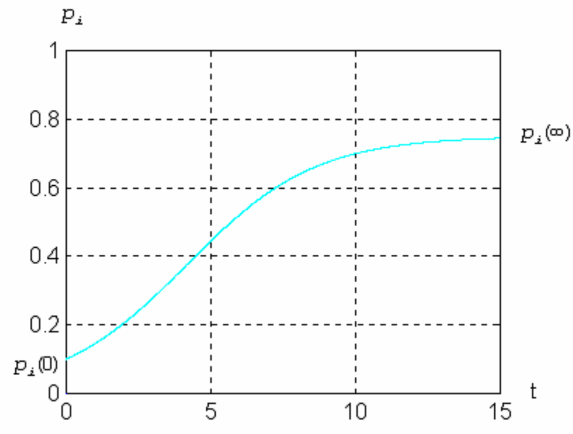

Рис. 2.7 График изменения i-ой вероятности

График имеет вид плавной кривой, начинающейся с начального значения вероятности $p_i(0)$, и при $t \to \infty$ стремящейся к установившемуся значению $p_i(\infty)$.

Рассмотрим установившееся состояние системы, так называемое статистическое равновесие. В этом состоянии вероятности $p_i(t)$ не меняются во времени, т.е. постоянны. Для установившегося состояния $\dfrac{dp_i(t)}{dt} = 0$.

Тогда уравнения для установившегося режима имеют вид:

$$\begin{aligned} &\lambda_0 p_0 = \mu_1 p_1 \\ &(\lambda_i + \mu_i) p_i = \lambda_{i-1} p_{i-1} + \mu_{i+1} p_{i+1} \end{aligned}.$$

Положим во втором уравнении i=1,2,3... и, вычитая из каждого уравнения предыдущее, приходим к следующей системе уравнений для стационарного режима:

$$\begin{aligned} &\lambda_0 p_0 = \mu_1 p_1, \\ &\lambda_1 p_1 = \mu_2 p_2, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \\ &\lambda_i p_i = \mu_{i+1} p_{i+1} \end{aligned} .$$

Решение этой системы уравнений имеет вид:

$$p_1 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} p_0, p_2 = \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\mu_0 \mu_1} p_0, \ldots, p_i = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \ldots \lambda_{i-1}}{\mu_0 \mu_1 \ldots \mu_i} p_0.$$

Кроме того, это решение дополняется условием нормировки: $\sum_{i=1}^{\infty} p_i = 1.$

2.5. Система массового обслуживания с отказами

Рассмотрим СМО с «n-штук” одинаковыми каналами, на которую поступает пуассоновский поток требований с интенсивностью λ. Если в момент поступления требования имеется свободный канал, то требование поступает на обслуживание. Если все каналы заняты, требование покидает систему, т.е. получает отказ на обслуживание. Ситуация, характерная для телефонии – в обыденном представлении очереди нет, просто клиенту некогда ждать, и он покидает систему.

С математической точки зрения в системах с отказами под длиной очереди *i* понимается число занятых каналов обслуживания, так что

$$\lambda_i = \begin{cases} \lambda, i \le n \\ 0, i > n \end{cases}.$$

Пусть μ – интенсивность обслуживания одним каналом. Тогда интенсивность обслуживания всех занятых каналов равна $\mu_i = i\mu, i = 1,2,\ldots n$, а вероятность одновременной работы всех *i* каналов равна:

$$p_i = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \ldots \lambda_{i-1}}{\mu_1 \mu_2 \ldots \mu_i} p_0 = \frac{\lambda \cdot \lambda \cdot \ldots \cdot \lambda}{1 \cdot \mu \cdot 2 \cdot \mu \cdot \ldots i \cdot \mu} p_0 = \frac{\lambda^i}{\mu^i \cdot i!} p_0 = \frac{\rho^i}{i!} p_0. \quad (2.1)$$

где приведенная интенсивность ρ потока равна

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}. \qquad (2.2)$$

Найдем вероятность простоя всех каналов, используя уравнение нормировки: $p_0 + p_1 + p_2 + \ldots + p_n = 1$.

Подставляя значения отдельных вероятностей, получаем

$$p_0 + \rho p_0 + \frac{\rho^2}{2!} p_0 + \ldots + \frac{\rho^i}{i!} p_0 = 1.$$

Из этого уравнения определяем вероятность простоя:

$$p_0 = \frac{1}{1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \ldots + \frac{\rho^i}{i!}}. \qquad (2.2)$$

Вероятность, когда заняты все каналы, называется вероятностью отказа:

$$p_{îò} = p_n = \frac{\rho^n}{n!} p_0. \qquad (2.4)$$

Вероятность отказа – важнейшая характеристика СМО. Есть еще одна характеристика – среднее число занятых каналов. По определению эта величина равна: $\bar{k} = \sum_{i=1}^{n} i p_i = \sum_{i=1}^{n} i \frac{\rho^i}{i!} p_0 = p_0 \sum_{i=1}^{n} \frac{\rho^i}{(1-i)!} p_0.$

Иногда вместо вероятности отказа используется понятие пропускной способности системы

$$\tilde{N} = (1 - p_{îò})\lambda. \qquad (2.5)$$

Рассмотрим пример.

Имеется система массового обслуживания с отказами. Приведенная интенсивность обслуживания ρ = 2. Имеется три канала обслуживания, т.е. *n*=3. Определить основные характеристики системы.

Решение.

Вероятность простоя равна:

$$p_0 = \frac{1}{1+\rho+\frac{\rho^2}{2!}+\frac{\rho^3}{3!}} = \frac{1}{1+2+\frac{2^2}{2!}+\frac{2^3}{3!}} \approx 0.158\,.$$

Вероятность отказа равна:

$$p_{\text{îò}} = p_3 = \frac{\rho^3}{3!}\,p_0 = \frac{2^n}{3!}0.158 \approx 0.211.$$

Среднее число занятых каналов:

$$\bar{k} = p_0\sum_{i=1}^{n}\frac{\rho^i}{(1-i)!}\,p_0 = p_0\left(\frac{\rho}{0!}+\frac{\rho^2}{1!}+\frac{\rho^3}{2!}\right) = 0.158\left(2+\frac{2^2}{1}+\frac{2^3}{2}\right) = 1.58$$

Видно, что в среднем занято примерно 1.6 канала или 52.5% оборудования, т.е.

$$\frac{\bar{k}}{n}100\% = \frac{1.58}{3}100 \approx 52{,}5\%.$$

Напрашивается решение – сократить число каналов с трех до двух. Примем *n* = 2.

Тогда получаем решение:

$$p_0 = \frac{1}{1+\rho+\frac{\rho^2}{2!}} = \frac{1}{1+2+\frac{2^2}{2!}} = 0.2\,,$$

$$p_{\text{îò}} = p_2 = \frac{\rho^2}{2!}\,p_0 = \frac{2^2}{2!}0.2 = 0.4,$$

$$\bar{k} = p_0(\frac{\rho}{0!} + \frac{\rho^2}{1!}) = 0.2(2 + \frac{2^2}{1}) = 1.2.$$

Вероятность отказа возрастает практически в два раза, а оборудование в среднем занято на 60%.

2.6. Одноканальная система обслуживания с ожиданием

В такой СМО имеется один канал обслуживания, $n = 1$. На этот канал поступает пуассоновский входной поток с интенсивностью λ. Интенсивность потока обслуживания μ. Следовательно, можно записать

$$\lambda_i = \lambda, \mu_i = \mu, i = 0,1,...$$

Это означает, что какая бы ни была длина очереди i, интенсивность входного потока и потока обслуживания остается постоянной.

Если канал свободен, заявка поступает на обслуживание. Если канал занят, заявка становится в очередь. Определяем вероятность длины очереди i:

$$p_i = \frac{\lambda_0 \lambda_1 ... \lambda_{i-1}}{\mu_1 \mu_2 ... \mu_i} p_0 = \frac{\lambda^i}{\mu^i} p_0 = \rho^i p_0,$$

где примем приведенную интенсивность $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$, т.е. интенсивность обслуживания больше, чем интенсивность входного потока.

Подставляем i-ю вероятность в уравнение нормировки:

$$p_0 + \rho p_1 + \rho^2 p_2 + ... + \rho^i p_n + ... = p_0(1 + \rho + \rho^2 + ... + \rho^i + ...) = 1$$

Сумма в скобках представляет собой сумму членов убывающей геометрической прогрессии. Из математики известно, что сумма S членов убывающей геометрической прогрессии равна:

$$S = \frac{a_1}{1-q},$$

где a_1 – первый элемент прогрессии, q – знаменатель прогрессии, причем q <1.

Следовательно, можно записать $p_0 \frac{1}{1-\rho} = 1$ или $p_0 = 1 - \rho$.

Наконец, вероятность длины очереди из i-требований равна

$$p_i = \rho^i (1-\rho), i = 0,1,2,...$$

Основными характеристиками такой СМО являются средняя длина очереди и среднее время ожидания обслуживания. Вместо среднего числа занятых каналов (как в системах с отказами) в этой системе определяется среднее число требований, находящихся в СМО:

$$\begin{aligned} \bar{k} &= \sum_{i=1}^{\infty} i p_i = 0 \cdot p_0 + 1 \cdot p_1 + 2 \cdot p_2 + ... + i \cdot p^i + ... = \\ &= (1-\rho)(\rho^1 + 2\rho^2 + 3\rho^3 + ... + i\rho^i + ...) \end{aligned}.$$

Сумма членов ряда во второй скобке равна [11]

$$(\rho^1 + 2\rho^2 + 3\rho^3 + ... + i\rho^i + ...) = \frac{\rho}{(1-\rho)^2}.$$

Тогда $\bar{k} = \frac{\rho}{1-\rho}$. Найдем также среднее число требований, находящихся на обслуживании:

$$\bar{k}_s \overset{\Delta}{=} 0 \cdot p_0 + 1 \cdot p_1 + 1 \cdot p_2 + ... + 1 \cdot p^i + ... = 1 - p_0 = 1 - (1-\rho) = \rho = \frac{\lambda}{\mu}.$$

Тогда по определению средняя длина очереди равна

$$\bar{k}_{ñðî} \overset{\Delta}{=} \bar{k} - \bar{k}_s\, 0 = \frac{\rho}{1-\rho} - \rho = \frac{\rho^2}{1-\rho}.$$

Среднее время обслуживания одной заявки равно 1/μ, поэтому среднее время ожидания обслуживания равно:

$$t_{\tilde{n}\eth\hat{\imath}} = \frac{\bar{k}}{\mu} = \frac{\rho}{(1-\rho)\mu}.$$

Рассмотрим пример одноканальной СМО с ожиданием.

Имеется аэродром с одной взлетно-посадочной полосой (ВПП). На аэродром садятся и взлетают с ВПП самолеты в среднем 3 шт./час. Среднее время обслуживания, т.е. занятия ВПП, $\tau_{\hat{\imath}\acute{a}\tilde{n}} = \frac{1}{\mu}$ = 15 мин. Определить среднюю длину очереди самолетов, ожидающих взлета и посадки и среднее время ожидания самолетом свободной полосы.

<u>Решение</u>

Относительная интенсивность обслуживания $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{3}{4} = 0.75 < 1$, где $\mu = \frac{1}{\tau_{\hat{\imath}\acute{a}\tilde{n}}}$ = 1/0.25=4 шт./час.

Среднее число самолетов в СМО

$$\bar{k} = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0.75}{1-0.75} = 3.$$

Среднее число самолетов на обслуживании $\bar{k}_s = \rho = 0.75$, средняя длина очереди

$$\bar{k}_{\tilde{n}\eth\hat{\imath}} = \bar{k} - \bar{k}_s = \frac{\rho^2}{1-\rho} = 3 - 0.75 = 2.25.$$

Среднее время ожидания обслуживания в часах $\bar{t}_{\tilde{n}\eth\hat{\imath}} = \frac{\bar{k}}{\mu} = \frac{3}{4}$ час, средние экономические потери

$$\bar{P} = P_t \cdot \bar{t}_{\tilde{n}\eth\hat{\imath}} = 10000 \cdot 0.75 = 7500\$,$$

где P_t =10000 \$/час – стоимость одного часа самолетного времени.

2.7. Понятие устойчивости СМО

При рассмотрении основных характеристик СМО мы ввели понятие относительной интенсивности ρ = λ/μ, причем в одноканальной СМО с ожиданием мы рассматривали случай, когда ρ < 1 или λ<μ. В этом случае интенсивность входного потока меньше интенсивности обслуживания и сумма членов $1+\rho+\rho^2+...+\rho^i+...$ образуют убывающую геометрическую прогрессию. Тогда

$$p_0 = 1-\rho,$$
$$p_i = (1-\rho)\rho^i.$$

Так как ρ < 1, то при $i \to \infty$ $p_i \to 0$. Следовательно, вероятность того, что длина очереди будет бесконечной, стремится к нулю, поскольку $\lim\limits_{i\to\infty} \rho^i = 0$.

Под асимптотической устойчивостью СМО понимается ситуация, когда $\lim\limits_{t\to\infty} P(i \to 0) = 1$, т.е. вероятность того, что при $t \to \infty$ все требования будут обслужены, стремится к единице. Очереди не будет, обслуживание будет не случайной, а достоверной величиной.

Также ясно, что при ρ>1 вместо убывающей геометрической прогрессии получается возрастающая. Следовательно, не существует вероятности p_0 и никогда очередь не будет обслужена. Говорят, что СМО «расходится», т.е. неустойчива.

В СМО с отказами относительная интенсивность ρ может быть больше 1. При всех занятых каналах система имеет постоянную длину очереди, равную числу имеющихся каналов. Очередь не растет, следовательно, СМО с отказами устойчива по Ляпунову и является некоторым эквивалентом нелинейной системы, пришедшей в состояние “насыщения”.

2.8. Многоканальная СМО с ожиданием

Такая СМО имеет n-штук каналов. На нее поступает пуассоновский поток требований с интенсивностью λ. Случайный процесс обслуживания описывается экспоненциальным распределением с интенсивностью μ в одном канале. Если есть свободные каналы, заявка поступает на обслуживание, в противном случае она встает в очередь.

Находим интенсивности

$\lambda_i = \lambda,$ при i =0,1,2,...,

$\mu_i = i\mu,$ при $i \le n,$

$\mu_i = n\mu,$ при $i >$ n.

Единая формула для определения i-х вероятностей для всех СМО имеет вид

$$p_i = \frac{\lambda_0 \lambda_1 ... \lambda_{i-1}}{\mu_1 \mu_2 ... \mu_i} p_0.$$

Рассмотрим случай, когда $i \le n$. Тогда

$$p_i = \frac{\lambda^i}{1 \cdot \mu \cdot 2 \cdot \mu \cdot ... \cdot i \cdot \mu} p_0 = \frac{\lambda^i}{i! \mu^i} p_0 = \frac{\rho^i}{i!} p_0.$$

Теперь рассмотрим случай, когда $i > n$:

$$p_i = \frac{\lambda^i p_0}{\left(\underbrace{(1 \cdot \mu \cdot 2 \cdot \mu \cdot ... \cdot n \cdot \mu)}_{n \ \text{ðàç}} \underbrace{(n\mu \cdot n\mu \cdot ... n\mu)}_{i-n \ \text{ðàç}} \right)} . = \frac{\lambda^i p_0}{n! \mu^n (n\mu)^{i-n}} =$$

$$= \frac{\lambda^{i-n} \cdot \lambda^n \cdot p_0}{n! \mu^n n^{i-n} \mu^{i-n}} = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{\rho^{i-n}}{n^{n-i}} \cdot p_0.$$

Найдем p_0 из условия нормировки вероятностей

$$p_0 + p_1 + p_2 + ... + p_{n-1} + p_n + p_{n+1} + ... + p_i + ... = 1$$

Подставляем значения вероятностей:

$$p_0 + \rho p_0 + \frac{\rho^2}{2!} p_0 + \frac{\rho^3}{3!} . p_0 + .. + \frac{\rho^{n-1}}{(n-1)!} p_0 + \frac{\rho^n}{n!} p_0 + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{\rho^1}{n^1} p_0$$

$$+ \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{\rho^2}{n^2} p_0 + ... + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{\rho^i}{n^i} p_0 + ... = 1$$

Выносим значение p_0 за скобку:

$$p_0 [1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \frac{\rho^3}{3!} + .. + \frac{\rho^{n-1}}{(n-1)!} + \frac{\rho^n}{n!} (1 + \frac{\rho^1}{n^1} + \frac{\rho^2}{n^2} + ... + \frac{\rho^i}{n^i} + ...) = 1 \cdot$$

Обратим внимание на сумму в круглых скобках, которая также представляет сумму членов убывающей геометрической прогрессии со знаменателем ρ/n. Так как $n > 1$, а $\rho < 1$, то $\rho/n < 1$. Поэтому сумма в круглых скобках равна:

$$(1 + \frac{\rho^1}{n^1} + \frac{\rho^2}{n^2} + ... + \frac{\rho^i}{n^i} + ...) = \frac{1}{1 - \frac{\rho}{n}} \cdot$$

Тогда для вероятности p_0 получаем:

$$p_0 = \frac{1}{1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \frac{\rho^3}{3!} + .. + \frac{\rho^{n-1}}{(n-1)!} + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\rho}{n}}} .$$

Аналогично случаю одноканальной системы можно найти среднее число заявок, находящихся на обслуживании $\bar{k}_s = \rho$ и среднюю длину очереди

$$\bar{k}_{ñðî} = \frac{\rho^{n+1} p_0}{(n-1)!(n-\rho)^2} ,$$

среднее число заявок в СМО

$$\bar{k} = \bar{k}_s + \bar{k}_{ñðî} = \rho + \frac{\rho^{n+1} p_0}{(n-1)!(n-\rho)^2} ,$$

среднее время ожидания

$$\bar{t}_{ñðî} = \frac{\bar{k}}{n\mu} = \frac{\rho}{n\mu} + \frac{\rho^{n+1} p_0}{n!(n-\rho)^2 \mu}.$$

3. Оценка развития уровня техники по формулам изобретений

3.1. Последовательность патентов как процесс массового обслуживания

Процессы развития технических систем во многом совпадают с процессами развития биологических систем. Общим является существование трех основных этапов развития [12], определяемых разной скоростью роста характерного параметра .

При построении кривой развития (кривая а, рис. 3.1, сверху), по оси ординат откладывается величина Р, которая и определяет один из параметров, характерных для той или иной системы, t - текущее время. Для разных технических систем характерные параметры разные, например, скорость или грузоподъемность (для транспортных систем), мощность (для силовых, энергетических систем), надежность, точность, быстродействие и т.п. В теории решения изобретательских задач эта кривая называется S-кривой. Три этапа развития обозначены следующим образом: I - медленный рост, II – быстрый, лавинообразный рост, III - медленный рост и насыщение. Средний график на рис. 3.1 отражает уровень L развития изобретений в технической системе в зависимости от времени *t*. Нижний график представляет эффект Э, получаемый от системы, чаще всего, экономический. С реальными кривыми развития для технических систем можно познакомиться в [13], где представлены S-кривые дальности полета пассажирских авиалайнеров, разрешения размера по диагонали для телевизоров и мониторов и др., в зависимости от даты выпуска. Конечно, кривая развития является некоторой средней кривой, определяющей тренд развития отдельных точек графика. Обычно в теории биологических популяций S-кривая апроксимируется некоторой математической зависимостью. Чаще всего используется логистическая кривая или логиста. Математический анализ логисты приведен в параграфе 2.6 [3].

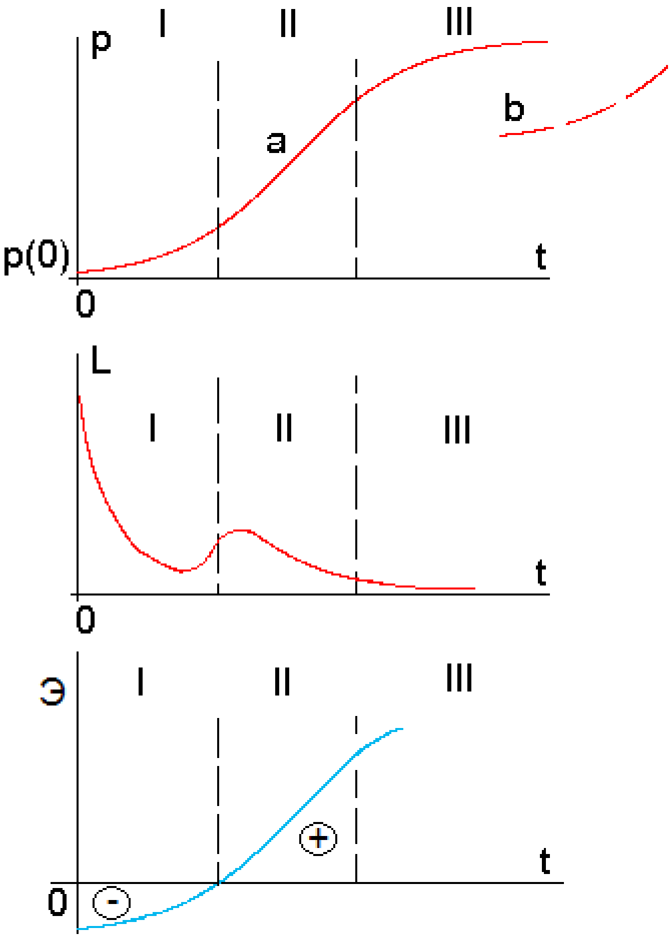

Рис. 3.1 Этапы развития технических систем

Для практического изобретателя, занимающегося созданием изобретений для какой-либо технической системы, большое значение имеет этап, на котором находится эта техническая система. Например, если система находится на третьем этапе развития, то уровень L изобретений в этом случае самый низкий (рис.3.1, средний график), и имеет смысл заняться изобретениями, связанными с развитием новой системы (кривая b на рис. 3.1, верхний график.).

Оценка уровня развития технической системы по характерному параметру S-кривой имеет существенный недостаток. Улучшение параметра с точки зрения изобретателя является некоторой целью, результатом изобретательства, изобретать же приходиться средства для достижения этого результата, т.е. способы (технологии) и устройства (изделия). Характерный параметр, например, самолета, его дальность полета. Кривая развития дальности практически ничего не говорит о конструкции самолета, о методах его изготовления. Поэтому попробуем оценить уровень развития технической системы через ее внутреннее описание, через её структуру.

Рассмотрим некоторую техническую систему, процесс развития которой будем оценивать по формулам изобретений, защищающих в патентах устройство этой системы [14,15].

Выберем хронологическую последовательность изобретений $X(k)$, k=0,1,2,.., в которой изобретение $X(k+1)$ является прототипом для изобретения $X(k)$. Тогда каждое изобретение можно отождествить с состоянием системы массового обслуживания, на которую поступает случайным образом входной поток признаков S с элементами S(i), где i=1,2,... Каждое изобретение имеет ограничительную и отличительную части. Будем считать, что признаки ограничительной части находятся на обслуживании системой, а признаки ограничительной части находятся в ожидании обслуживания. Совокупность признаков, образующих ограничительную часть изобретения $X(k)$, назовем ядром изобретения $X(k)$ или Ker$X(k)$, а совокупность признаков, образующих отличительную часть изобретения $X(k)$, назовем очередью изобретения $X(k)$ или Que$X(k)$.

Поскольку пояление признака в изобретении есть случайное событие, то введем вероятность $p(i,k)$[Ker$X(k)$] того, что признак S(i) входит в ядро Ker$X(k)$] и вероятность $p(j,k)$[Que$X(k)$] того, что признак S(j) входит в очередь Que$X(k)$]. Естественно, $i \neq j$, поскольку один и тот же признак не может одновременно находиться в ядре и очереди одного и того же изобретения. Предварительная оценка той или иной вероятности может быть произведена по частоте появления соответствующего признака в ядрах или очередях последовательности изобретений.

Например, если мы анализируем развитие датчиков давления, то одним из признаков является наличие мембраны. Назовем его S(1), т.е. первым. Пусть мембрана является признаком ограничительной части в 15 изобретениях из последовательности из 15 изобретений. Тогда вероятность $p(i,k)[\mathrm{Ker}X(k)]$ вхождения первого признака в пятнадцатое изобретение равна: $p(1,15)[\mathrm{Ker}X(15)]$ =15/15=1, а вероятность $p(1,15)[\mathrm{Que}X(15)]$ =0/15=0.

Вообще вероятности $p(i,k)[\mathrm{Ker}X(k)]$ или $p(j,k)[\mathrm{Que}X(k)]$ равны n/k, где n-количество i-тых или j-тых признаков соответственно в ядрах или очередях последовательности из k изобретений.

Рассмотрим, как могут меняться эти вероятности при увеличении длины последовательности k. Допустим, что какой-то признак S(j) входит в очередь k-го изобретения, тогда для следующего k+1 изобретения он может появиться только в его ядре, так как k-ое изобретение является прототипом для k+1-го изобретения. Таким образом, на пару подряд следующих изобретений признак S(j) может появляться в очереди только одного из изобретений.

Поэтому максимально возможное число появлений признака S(j) в очередях из k изобретений равно $n_{\max} = \dfrac{k}{2}$ для четных k, и $n_{\max} = \dfrac{k+1}{2}$ для нечетных k. Найдем предел, к которому стремится вероятность вхождения признака S(j) в очередь последовательности из k изобретений при $k \to \infty$:

$$\lim_{k\to\infty} p(j,k)[QueX(k)] = \lim_{k\to\infty} \frac{n_{\max}}{k} = \lim_{k\to\infty} \frac{k/2}{k} = \lim_{k\to\infty} \frac{k+1/2}{k} = 0.5$$

Таким образом, при больших значениях k даже при максимальной частоте появления признака S(j) в последовательности изобретений предел вероятности вхождения его в очередь не может превышать 0,5.

Иначе обстоит дело с вероятностью вхождения признака S(i) в ядро изобретений. Для двух подряд следующих изобретений возможны два варианта: либо признак S(i), входящий в ядро k-го изобретения, продолжает находиться на обслуживании в ядре k+1-го изобретения, либо выпадает из обслуживания k+1-го изобретения. Предельный случай получается, когда S(i) входит во все k-штук изобретений последовательности. Тогда предел вероятности $p(i,k)$[Ker$X(k)$] при $k\to\infty$ равен 1. Образно можно сказать, признаки ядер обладают большим потенциалом "прижиться" в изобретении, чем признаки очередей.

Изобретатель заинтересован в том, чтобы ограничительных признаков (т.е. в ядре формулы изобретения) было меньше. Идеальным для изобретателя и самым сильным является изобретение, не имеющее прототипа, т.е. с пустым ядром. К сожалению, для изобретателей, если, конечно, они не авторы прототипа, в подавляющем большинстве случаев прототип существует, как и минимально необходимая совокупность ограничительных признаков, образующая ядро.

Любой признак S(j) первый раз, т.е. прежде всего, появляется в очереди некоторого k-го изобретения. Далее, при увеличении k он может перейти в ядро следующего k+1-го изобретения и закрепиться в в последовательности ядер, если вероятность $p(i,k)$[Ker$X(k)$] растет или выпасть из последовательности ядер в противном случае.

Признак закрепляют в ядрах авторы изобретений, не имеющие возможность выкинуть его из формулы из-за нарушения работоспособности устройства, т.е. невыполнения его функции. Поэтому можно сделать вывод, что признаки ядра в значительной степени определяют функцию системы и являются тем скелетом, вокруг которого группируются другие признаки, входящие в очередь или выпадающие из нее. Эволюция ядер при увеличении k отражает эволюцию функции системы во времени.

В общем случае в k-ое ядро входят несколько признаков S(i), где i=1,2,...m, и число m может рассматриваться как число каналов системы массового обслуживания.

Введем понятие плотности ядра $p(k)$ κ-го изобретения как вероятности совместного вхождения всех m-штук признаков в ядро κ-го изобретения, т.е.

$$p(k) = p(1,k)[KerX(k)] \cdot p(2,k)[KerX(k)] \cdot \ldots \cdot p(m,k)[KerX(k)] =$$
$$= \prod_{i=1}^{m} p(i,k)[KerX(k)].$$

При этом считаем в первом приближении, что события вхождения признаков в ядро являются независимыми. В противном случае необходимо использовать условные вероятности.

Например, пусть в ограничительной части некоторого изобретения имеется четыре признака: "гофрированная мембрана установлена в корпусе". Первым признаком обозначим мембрану, вторым - корпус, третьим - взаиморасположение мембраны относительно корпуса (мембрана установлена в корпусе), четвертым признаком обозначим форму мембраны (гофрированная). Первый и второй признаки могут считаться взаимно независимыми, поскольку наличие в изобретении корпуса или мембраны не зависит от того, есть ли в нем мембрана или корпус соответственно. Третий признак является зависимым, поскольку взаиморасположение или взаимосвязь двух элементов не может существовать без каждого из этих двух элементов. Аналогично четвертый признак - форма выполнения элемента - не может существовать без этого элемента.

Если предел вероятности при $p(i,k)[\mathrm{Ker}X(k)]$ каждого из признаков при $k \to \infty$ равен единице, то и плотность ядра при $k \to \infty$ достигает своего максимального значения. Ограничительные признаки практически полностью определяют функцию системы, их количество становится постоянным и равным m. Все каналы системы массового обслуживания заняты. Отличительные признаки, находящиеся в ожидании в очереди, имеют слишком малую вероятность попасть в ядро и покидают очередь, получив отказ на обслуживание. Таким образом, если рассматривать только ограничительные части последовательности формул изобретений, то их можно приближенно считать состояниями многоканальной системы массового обслуживания с отказами.

3.2. Дискретная логистическая кривая

В параграфе 2.4. эволюция системы массового обслуживания была представлена процессом гибели и размножения с соответствующей системой дифференциальных уравнений Колмогорова. Решением этой системы является набор вероятностей $p_i(t)$, где i - длина очереди. Каждая из вероятностей изменяется во времени по кривой развития, т.е. S-кривой. Выясним, какой длине очереди соответствует вероятность $p(k)$ плотности ядра изобретения, введенная в параграфе 3.1.

Рассмотрим простой пример. Пусть в ограничительной части формул в последовательности изобретений встречается всего 3 разных признака. Тогда число каналов m=3. Пусть вероятность появления первого признака равна $p(1,k)$, второго - $p(2,k)$, третьего - $p(3,k)$. Найдем вероятность того, что в многоканальной СМО с отказами занят один канал, т.е. длина очереди i=1:

$$p_1(k) = p(1,k)(1 - p(2,k)(1 - p(3,k) + p(2,k)(1 - p(1,k)(1 - p(3,k) +$$
$$+ p(3,k)(1 - p(1,k)(1 - p(2,k).$$

Выражение означает, что в ограничительной части формулы k-го изобретения последовательности с вероятностью $p(1,k)$ занят первый канал, и с вероятностью (1-p(2,k)) не занят второй канал, и с вероятностью (1-p(3,k)) не занят третий канал; или, с вероятностью $p(2,k)$ занят второй канал, и с вероятностью (1-p(1,k)) не занят первый канал, и с вероятностью (1-p(3,k)) не занят третий канал; или с вероятностью $p(3,k)$ занят третий канал, и с вероятностью (1-p(1,k)) не занят первый канал, и с вероятностью (1-p(2,k)) не занят второй канал.

Аналогично найдем вероятность того, что в многоканальной СМО с отказами занято два канала, т.е. длина очереди i=2:

$$p_2(k) = p(1,k)\,p(2,k)(1 - p(3,k) + p(2,k)\,p(3,k)(1 - p(1,k) +$$
$$+ p(3,k)\,p(1,k)(1 - p(2,k).$$

Выражение означает, что в ограничительной части формулы k-го изобретения последовательности с вероятностью $p(1,k)$ занят первый канал, и с вероятностью p(2,k) занят второй канал, и с вероятностью (1-p(3,k)) не занят третий канал; или с вероятностью

$p(2,k)$ занят второй канал, и с вероятностью р$(3,k)$) занят третий канал, и с вероятностью (1-р$(1,k)$) не занят первый канал; или с вероятностью $p(3,k)$ занят третий канал, и с вероятностью р$(1,k)$ занят первый канал, и с вероятностью (1-р$(2,k)$) не занят второй канал.

Наконец, для длины очереди i=3 имеем

$$p_3(k) = p(1,k)\,p(2,k)\,p(3,k).$$

Выражение означает, что в ограничительной части формулы k-го изобретения последовательности с вероятностью $p(1,k)$ занят первый канал, и с вероятностью р$(2,k)$ занят второй канал, и с вероятностью р$(3,k)$ занят третий канал.

Таким образом, вероятность плотности ядра, равная произведению вероятности признаков, является вероятностью того, что заняты все каналы, так как в СМО с отказами длина очереди определяется числом занятых каналов. Единственное отличие заключается в том, вероятность длины очереди $p_m(t)$ в уравнениях Колмогорова зависит от непрерывного времени t, а вероятность плотности ядра изобретений $p(k)$ зависит от номера изобретения в их (изобретений) хронологической последовательности, т.е. от некоторого дискретного времени. Кривая развития получается решетчатой функцией. Поэтому рассмотрим дискретный аналог логистической кривой, задаваемой нелинейным разностным уравнением типа Бернулли

$$p(k+1) = \lambda \cdot p(k) - \rho \cdot p^2(k),$$

где λ и ρ - коэффициенты, определяемые экспериментально. Для решения уравнения введем обозначение $y(k) = \dfrac{p(k+1)}{p(k)}$. С учетом этого обозначения дискретная логиста записывается в виде

$$y(k) = \lambda - \rho \cdot p(k).$$

Решаем это уравнение при помощи итерационной процедуры, назначая k = 0,1,2,...

$$y(0) = \lambda - \rho \cdot p(0),$$
$$y(1) = \lambda - \rho \cdot p(0) \cdot [\lambda - \rho \cdot p(0)],$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$y(k) = \lambda - B(k),$$

где $B(i) = B(i\text{-}1)[\lambda - B(i\text{-}1)]$ для i=1,2,.... и $B(0) = \rho{\cdot}p(0)$.

Делая обратную замену переменной $y(k)$ в последнем равенстве итерационной процедуры, получаем уже линейное однородное нестационарное разностное уравнение, описывающее дискретную логисту,

$$p(k+1) = [\lambda - B(k)]p(k).$$

Нестационарность заложена в переменности в дискретном времени коэффициента $[\lambda - B(k)]$.

Решение этого уравнения хорошо известно:

$$p(k) = p(0) \cdot \prod_{i=0}^{k-1} [\lambda - B(i)] .$$

Найдем первую разность решетчатой функции

$$\Delta p(k) = p(k+1) - p(k) = (\lambda\text{-}1)\, p(k) - \rho\, p^2(k). \qquad (3.1)$$

Определим стационарные точки решения, приравняв первую разность решетчатой функции нулю. При k=0 имеем $\Delta p(0) = p(1) - p(0)=0$ или $p(1)=p(0)=p_{S1}=c$, где c – некоторая константа. При $k\to\infty$ $p(k \to \infty) = p_{S2} = \dfrac{\lambda - 1}{\rho}$.

Для определения устойчивости стационарных точек воспользуемся методом Ляпунова. Линеаризуем функцию $p(k)$ в окрестности некоторой точки $p_0(k)$, т.е. представим $p(k) = p_0(k) + \delta p(k)$, где $\delta p(k)$ - малое приращение. Подставляя $p(k)$ в уравнение (3.1), получаем уравнение возмущенного движения

$$\Delta p_0(k)+\Delta\delta p(k)=(\lambda\text{-}1)p_0(k)+(\lambda\text{-}1)\delta p(k) -$$
$$-\rho[p_0(k)+\delta p(k)]^2 \qquad (3.2)$$

Вычитая из (3.2) уравнение (3.1), записанное в точке $p_0(k)$, и пренебрегая членами второго порядка малости ($[\delta p(k)]^2 \approx 0$), получаем линейное уравнение относительно приращений

$$\Delta\delta p(k)=(\lambda-1)\delta p(k)-2\rho p_0(k)\delta p(k).$$

Заменяем первую разность $\Delta\delta p(k)$ на $\delta p(k+1)-\delta p(k)$.

Тогда имеем

$$\delta p(k+1)=[\lambda-2\rho p_0(k)]\delta p(k). \qquad (3.3)$$

Выберем функцию Ляпунова в виде положительно определенной квадратичной формы $V=[\delta p(k)]^2$. По теореме Ляпунова условие устойчивости можно записать в виде $W=\Delta V<0$, где W - первая разность от функции Ляпунова, взятая в силу уравнения системы, т.е.

$$W=V(k+1)-V(k)=[\delta p(k+1)]^2-[\delta p(k)]^2=$$

$$=[\lambda-2\rho p_0(k)]^2[\delta p(k)]^2-[\delta p(k)]^2<0,$$

или $W=\{[\lambda-2\rho p_0(k)]^2-1\}[\delta p(k)]^2<0.$

Отсюда получаем, что условие устойчивости определяется выражением $[\lambda-2\rho p_0(k)]^2<1$. В условие устойчивости подставляем значения стационарных точек p_{S1} и p_{S2}. Для первого состояния равновесия получаем $[\lambda-2\rho p_0(k)]^2<1$ или $|\lambda-2\rho c|<1$. Для второго состояния равновесия получаем $(\lambda-2\rho\frac{\lambda-1}{\rho})^2<1$ или $(2-\lambda)^2<1$, что эквивалентно условию $|2-\lambda|<1$ или $1<\lambda<3$.

Поскольку по мере развития технической системы плотность ядра растет, то состояние $p_{S1}=c$ выбираем неустойчивым, тогда для обеспечения неустойчивости должно выполняться условие $|\lambda-2\rho c|>1$. Оно разбивается на два: или $\lambda>1+2\rho c$, или $\lambda<2\rho c-1$. Второе состояние $p_{S2}=\frac{\lambda-1}{\rho}$ выбираем устойчивым. Для него уже получены ограничения на управляющий параметр λ в виде $1<\lambda<3$. Второй управляющий параметр ρ также имеет ограничения. Поскольку любая вероятность, в том числе и p_{S2}, находится в пределах от 0 до 1, то получаем ограничения для $\rho \geq \lambda-1$.

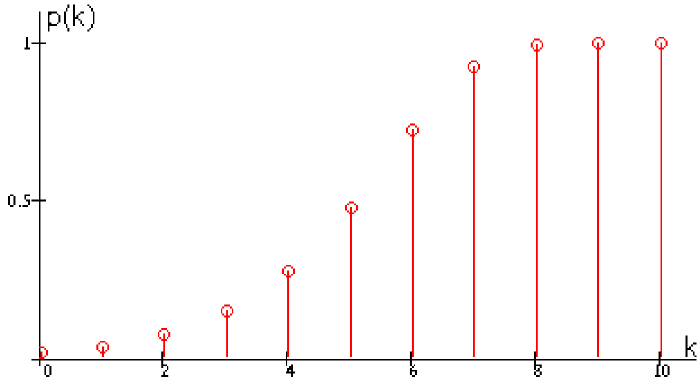

Рис. 3.2 График дискретной логистической кривой

График дискретной логисты для λ=2, ρ=1 p(0)=0,02 представлен на рис.3.2. График представляет собой решетчатую функцию, у которой также имеется три этапа развития: медленные рост, быстрый рост и этап насыщения.

3.3. Пример построения дискретной кривой развития

Практическую оценку уровня развития технической системы рассмотрим на следующем примере.

Возьмем хронологическую последовательность изобретений, имеющих одинаковый или похожий индекс международной классификации изобретений. Как показывает практика оценки уровня развития, необязательно, чтобы каждое изобретение было прототипом предыдущего.

Из ограничительных частей выбираем разные признаки, всего разных будет m штук, например, m=4. Далее определяем текущую вероятность вхождения каждого признака в последовательность изобретений. Пусть первый признак входит в ядро всех изобретений. Второй признак первый раз входит в ядро второго изобретения и далее закрепляется в ядре. Третий признак первый раз входит в ядро третьего изобретения и далее закрепляется в ядре. Четвертый признак первый раз входит в ядро четвертого изобретения и далее закрепляется в ядре.

Вероятность того, что первый признак входит в ядро последовательности длиной единица, равна: $p(1,1) = 1/1=1$. Вероятность того, что второй признак входит в ядро последовательности длиной единица, равна: $p(2,1) = 0/1=0$. Вероятность того, что третий признак входит в ядро последовательности длиной единица, равна: $p(3,1) = 0/1=0$. Вероятность того, что четвертый признак входит в ядро последовательности длиной единица, равна:$p(4,1)=0/1=0$.Плотность ядра последовательности длиной единица равна произведению вероятностей $p(1)= p(1,1) \cdot p(2,1) \cdot p(3,1) \cdot p(4,1) = 0$.

Вероятность того, что первый признак входит в ядро последовательности длиной два, равна: $p(1,2) = 2/2=1$. Вероятность того, что второй признак входит в ядро последовательности длиной два, равна: $p(2,2) = 1/2$. Вероятность того, что третий признак входит в ядро последовательности длиной два, равна: $p(3,2) = 0/2=0$. Вероятность того, что четвертый признак входит в ядро последовательности длиной два, равна: $p(4,2) = 0/2=0$. Плотность ядра последовательности длиной два равна произведению вероятностей $p(2)= p(1,2) \cdot p(2,2) \cdot p(3,2) \cdot p(4,2) = 0$.

Вероятность того, что первый признак входит в ядро последовательности длиной три, равна: $p(1,3) = 3/3=1$. Вероятность того, что второй признак входит в ядро последовательности длиной три, равна: $p(2,3) = 2/3$. Вероятность того, что третий признак входит в ядро последовательности длиной три, равна: $p(3,3) = 1/3$. Вероятность того, что четвертый признак входит в ядро последовательности длиной три, равна: $p(4,3) = 0/3=0$. Плотность ядра последовательности длиной три равна произведению вероятностей $p(2)= p(1,3) \cdot p(2,3) \cdot p(3,3) \cdot p(4,3) = 0$.

Вероятность того, что первый признак входит в ядро последовательности длиной четыре, равна: $p(1,4) = 4/4=1$. Вероятность того, что второй признак входит в ядро последовательности длиной четыре, равна: $p(2,4) = 3/4$. Вероятность того, что третий признак входит в ядро последовательности длиной четыре, равна: $p(3,4) = 2/4=1/2$. Вероятность того, что четвертый признак входит в ядро последовательности длиной четыре, равна: $p(4,4) = 1/4$. Плотность ядра последовательности длиной четыре равна произведению вероятностей р(4)= $p(1,4) \cdot p(2,4) \cdot p(3,4) \cdot p(4,4) = 0{,}0938$.

Нетрудно заметить, что для данного конкретного примера последующие вероятности рассчитываются по формулам

$$p(1,k)=\frac{k}{k},\ p(2,k)=\frac{k-1}{k},\ p(3,k)=\frac{k-2}{k},\ p(4,k)=\frac{k-3}{k},$$ где k=5,6,7,... .

Плотность ядра последовательности длиной k равна:

$$p(k)=\frac{(k-1)(k-2)(k-3)}{k^4}=1-\frac{6}{k}+\frac{11}{k^2}.$$

Как видно, при $k\to\infty$ плотность ядра $p(k)\to 1$.

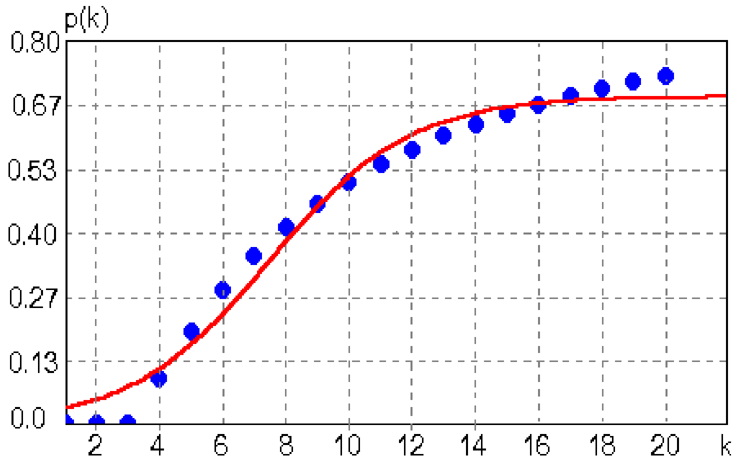

Рис. 3.3. Аппроксимация дискретной логисты непрерывной кривой развития

Изменение плотности ядра $p(k)$, вычисленное по данным примера до k=20, представлено на рис.3.3 точками. Необходимо отметить, что практическая кривая развития отличается от теоретической дискретной логисты, уравнение которой приведено в предыдущем параграфе 3.2. В частности, плотность ядра до *к*=3 равняется нулю, а в теоретической кривой даже при *к*=0 плотность ядра нулю не равна. Логистические кривые с нуля не начинаются. При нулевом времени (t=0 или k=0 для дискретного случая) значение параметра $p(t)$ по оси ординат больше нуля.

Действительно, если строится S-кривая развития скорости для транспортных средств, например, для авиации, то даже для первого полетевшего самолета она не была равна нулю. Поэтому для оценки развития технической системы дискретная кривая развития аппроксимируется непрерывной логистой, которая на рисунке 3.3 проведена непрерывной линией. Анализ непрерывной логистической кривой подробно рассмотрен в параграфе 2.6 [3].

Из рисунка 3.3 следует, что первый этап развития данной технической системы примерно продолжался от 1 до 4 изобретения, от 5 до 12 изобретения система развивалась на 2 этапе, от 13 изобретения и далее система находится на 3 этапе развития.

Заметим, что аппроксимирующая кривая стремится к установившемуся значению плотности ядра, примерно равному 0,69, а не к единице. Это связано с некоторой искусственностью исходных данных в гипотетическом примере, поскольку маловероятно, что некоторый признак с первого появления в ядре последовательности закрепляется в нем сразу же, поэтому и вероятности при больших k завышены. Фактически график реальной плотности ядра будет стремиться к значению плотности ядра меньше, чем единица.

Например, выберем эволюцию четвертого признака следующим образом. Пусть четвертый признак также первый раз появляется в четвертом изобретении последовательности, но в пятом изобретении пропадает, в шестом снова появляется, в седьмом пропадает и так далее, т.е. этот признак вообще не закрепляется в ядре. В этом случае вероятность $p(4,k)$ начиная с k=5 необходимо рассчитывать по формуле

$p(4,k) = \frac{1}{k}\, floor(\frac{k}{2} - 1)$, где оператор $floor(z)$ означает нахождение целой части числа z. Именно так этот оператор называется в программной среде "Mathcad". График изменения плотности ядра для этой ситуации приведен на рис.3.4.

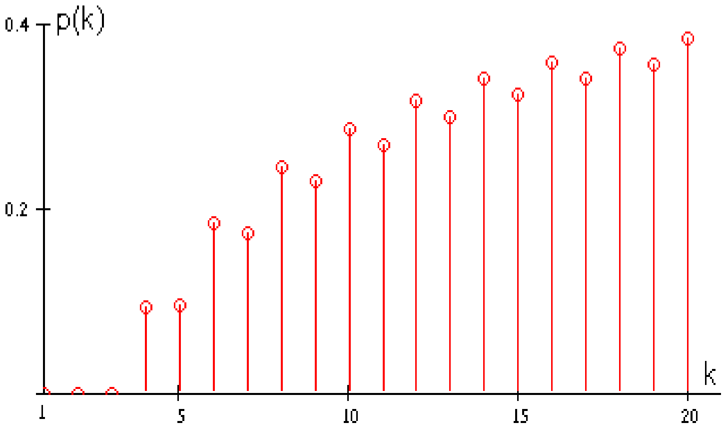

Рис. 3.4. График дискретной логисты с колебаниями

Нетрудно показать, что при k →∞ плотность ядра p(k)→0,5. Кроме того, на вершину графика накладываются колебания, которые при k →∞ затухают. Во-вторых, погрешности возникают также и из-за того, что дискретная логиста описывает график плотности ядра изобретений в среднем. Однако погрешности данного примера никак не влияют на методику оценки уровня развития технической системы по формулам изобретений.

4. Информационная оценка изобретений

4.1. Пропускная способность последовательности изобретений

Рассчитаем пропускную способность хронологической последовательности изобретений, считая формулы изобретений системой многоканального обслуживания с отказами. Можно оценивать пропускную способность ограничительной части или всей формулы, методика от этого не меняется. Для этого используем формулы из параграфа 2.5.

Рассмотрим простой пример. Допустим, имеем хронологическую последовательность из семи изобретений. Анализ патентных формул показывает, что в ограничительной части всех изобретений имеется 5 разных признаков. Тогда число каналов n=5. Составим таблицу 4.1, в которой отметим наличие или отсутствие того или иного признака в каждом из изобретений.

Рассчитываем период T последовательности:

$$T=2002 - 1985=17 \text{ лет.}$$

Таблица 4.1. Наличие или отсутствие признаков в последовательности изобретений

№ изобретения, Дата публ.	1-й признак	2-й признак	3-й признак	4-й признак	5-й признак
1-е, 1985 г.	есть	есть	нет	нет	есть
2-е, 1987 г.	есть	нет	нет	есть	есть
3-е, 1991 г.	есть	есть	есть	нет	нет
4-е, 1992 г.	есть	есть	есть	нет	нет
5-е, 1995 г.	есть	нет	есть	есть	есть
6-е, 1999 г.	есть	есть	есть	нет	нет
7-е, 2002 г.	есть	есть	нет	есть	есть

Теперь считаем, сколько раз признаки поступали в формулы изобретений. Первый признак за время T поступил всего один раз, поскольку вошел уже в первое изобретение и далее остается на обслуживании в течение всей последовательности. Следовательно, $s1$=1, где $s1$- количество заявок, поступивших в первый канал (номер канала определяется номером признака).

Второй признак за время T поступил $s2$=3 раза, поскольку пропадал два раза (во втором и пятом изобретениях), а потом снова возвращался в последовательность.

Третий признак за время T поступил $s3=1$ раз, четвертый признак поступил $s4=3$ раза, пятый признак поступил $s5=3$ раза.

Рассчитываем среднюю интенсивность входного потока признаков:

$$\lambda = \frac{s1+s2+s3+s4+s5}{T} = \frac{1+3+1+3+3}{17} = 0.647 \text{ признаков/год}$$

Теперь необходимо среднюю интенсивность обслуживания по каналам. В первом канале первый признак находился $t1=17$ лет (2002 - 1985=17). Тогда интенсивность обслуживания равна

$$\mu 1 = \frac{1}{\mathrm{t1}} = \frac{1}{17} = 0.059 \text{ признаков/год.}$$

Для второго канала второй признак находился на обслуживании 3 раза в течение следующих времен:

$t21$= 1987-1985=2 года, $t22$=1995-1991=4 года, $t23$=2002-1999=3 года. Тогда частные интенсивности равны

$$\mu 21 = \frac{1}{\mathrm{t21}} = \frac{1}{2}, \mu 22 = \frac{1}{\mathrm{t22}} = \frac{1}{4}, \mu 23 = \frac{1}{\mathrm{t23}} = \frac{1}{3} \text{ (признаков/год).}$$

Средняя интенсивность обслуживания во втором канале

$$\mu 2 = \frac{\mu 21 + \mu 22 + \mu 23}{3} = \frac{\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{3}}{3} = 0.361 \text{ признаков/год.}$$

Для третьего канала $t3$= 2002-1991 = 11 лет, и признак обслуживался один раз. Следовательно, интенсивность обслуживания равна

$$\mu 3 = \frac{1}{\mathrm{t3}} = \frac{1}{11} = 0.091 \text{ признаков/год.}$$

Для четвертого канала $t41$= 1991-1987=4 года, $t42$=1999-1995=4 года, тогда

$$\mu 41 = \mu 42 = \frac{1}{t41} = \frac{1}{4}$$ признаков/год, и средняя интенсивность обслуживания в четвертом канале $\mu 4=0.25$.

Для пятого канала $t51$= 1991-1985=6 лет, $t52$=1999-1995=4 года, тогда

$$\mu 51 = \frac{1}{t51} = \frac{1}{6}, \mu 52 = \frac{1}{t52} = \frac{1}{4}$$ признаков/год, и средняя интенсивность обслуживания в пятом канале $\mu 4$=0.25.

$$\mu 5 = \frac{\mu 51 + \mu 52}{2} = \frac{\frac{1}{6} + \frac{1}{4}}{2} = 0.208$$ признаков/год.

Наконец, среднюю интенсивность обслуживания всей СМО получаем как среднюю интенсивность обслуживания всех каналов

$$\mu = \frac{\mu 1 + \mu 2 + \mu 3 + \mu 4 + \mu 5}{5} =$$

$$= \frac{0.059 + 0.361 + 0.091 + 0.25 + 0.208}{5} = 0.194$$ признаков/год.

Средняя приведенная интенсивность по формуле (2.2) равна

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0.647}{0.194} = 3.335.$$

Отметим, что оценка по средним интенсивностям, конечно, является приближенной.

Вероятность простоя равна (2.3):

$$p_0 = \frac{1}{1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \frac{\rho^3}{3!} + \frac{\rho^4}{4!} + \frac{\rho^5}{5!}} = 0.041.$$

Вероятность отказа равна (2.4):

$$p_{îò} = p_5 = \frac{\rho^5}{5!} p_0 = \frac{(3.335)^5}{5!} 0.041 \approx 0.141.$$

По формуле (2.5) рассчитываем пропускную способность последовательности из 7 изобретений:

$$\tilde{N} = (1 - p_{îò})\lambda = (1 - 0.141)0.647 = 0.556$$ признаков/год.

Чем выше пропускная способность, тем интенсивнее изобретатели работают над изобретениями в данной области техники. По этой методике можно рассчитать изменение пропускной способности во времени, т.е. рассчитать, например, пропускную способность первых трех изобретений, потом четырех, пяти и т.д. и определить этап развития изобретательской интенсивности.

Кроме того, можно сравнивать и пропускные способности изобретений в разных областях техники, и выбирать стратегию работы изобретателя.

4.2. Информационная оценка нежелательного эффекта в АРИЗе

Хорошо известно, что для оценки изобретений в ТРИЗ имеется 5 уровней [1]. Различие уровней Г.С. Альтшуллер связывал с характером технических противоречий (ТП) и способов их преодоления при решении изобретательской задачи. Поэтому можно утверждать, что ТП и результат его разрешения несут некоторую информацию об уровне изобретения. Для выявления этой информации получим простую математическую модель ТП в рамках математической теории информации К.Шеннона [16] и для этой модели получим некоторые количественные оценки.

4.2.1. Двоичный канал с шумом

В статье «Надежные схемы из ненадежных реле» [17] рассматривается релейная схема ненадежного реле, в котором нормально замкнутый и нормально разомкнутый контакты срабатывают с некоторой вероятностью (рис.4.1).

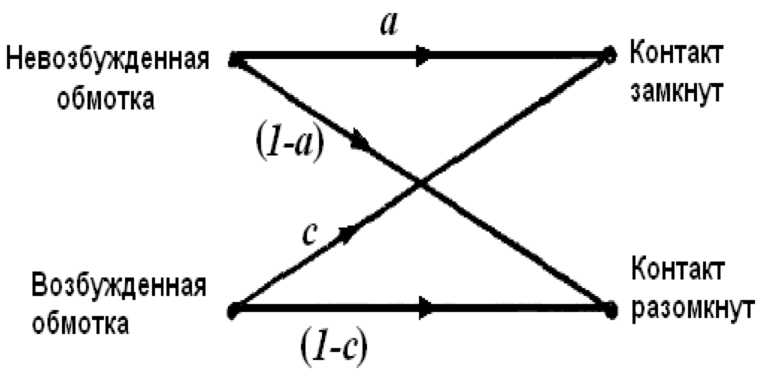

Рис. 4.1. Структурная схема дискретного канала с шумом

Если обмотка реле не возбуждена, считается, что нормально разомкнутый контакт может быть замнут с вероятностью a, в силу, например, «залипания» контакта от предыдущего срабатывания, и, соответственно, может быть замкнут с вероятностью (1- a). Если обмотка реле возбуждена, то контакт замкнут с вероятностью c и разомкнут с вероятностью (1- c); если a больше c, то мы называем такой контакт размыкающим, если a меньше c, то мы называем такой контакт замыкающим. Предположим, что различные контакты статистически независимы. Кроме того, предположим, что в последующие моменты, когда обмотка реле снова возбуждается, «поведения» контактов статистически независимы.

Реле такого типа, управляемые вероятностями a и c, называются ненадежными реле. Эта схема подобна тем, которые применяются для представления простого канала связи с шумами и действительно, такое реле может рассматриваться как двоичный канал с шумом. Пропускная способность соответствующего канала будет тогда и только тогда равна нулю, когда $a=c$.

Формализуем канал следующим образом [18]. Введем пространство случайных входных событий, состоящее из двух событий (N=2):

$x1$ – обмотка реле не возбуждена с вероятностью $p(x1)$,

$x2$ – обмотка реле возбуждена с вероятностью $p(x2)$,

и пространство случайных выходных событий:

$y1$ – контакты разомкнуты с вероятностью $p(y1)$,

$y2$ – контакты замкнуты с вероятностью $p(y2)$.

Математически канал характеризуется матрицей условных вероятностей

$$P = \begin{bmatrix} p(y1/x1) & p(y1/x2) \\ p(y2/x1) & p(y2/x2) \end{bmatrix},$$

где $p(yi/xj)$ – условная вероятность события $p(yi)$, если произошло событие xj, i=1,2 и j=1,2. Вектор выходных вероятностей находится умножением матрицы Р на вектор входных вероятностей, т.е.

$$\begin{bmatrix} p(y1) \\ p(y2) \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} p(x1) \\ p(x2) \end{bmatrix}.$$

Энтропия H рассчитывается по известной формуле Шеннона:

$$H = -\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} pi \cdot \log\, pi,$$

где для источника двоичных сообщений логарифм берется по основанию 2, тогда энтропия измеряется в бит/сообщение. Для дискретного канала можно рассматривать несколько энтропий, например, $H(x)$ – энтропию источника дискретных сообщений

$$H(x) = -[p(x1) \cdot \log\, p(x1) + p(x2) \cdot \log\, p(x2)].$$

Если передача происходит без помех, то матрица Р получается единичной $p(y1/x1) = p(y2/x2) = 1$, перекрестные вероятности $p(y1/x2) = p(y2/x1) = 0$, и энтропия приемника дискретных сообщений $H(y)$ равна энтропии источника $H(y) = H(x)$. Для оценки передачи с помехами в теории передачи двоичных сообщений обычно рассчитывается энтропия совместных событий $(y1x1)$ и $(y2x2)$:

$$H(y1x1, y2x2) = -[p(\mathrm{y}1/x1) \cdot \log\, p(y1/x1) + p(y2/x2) \cdot \log\, p(y2/x2)]$$

Она дает вероятностную оценку того, насколько невозбужденному входу соответствует невозбужденный выход, и возбужденному входу – возбужденный выход.

4.2.2. Информационная модель технического противоречия

ТП в АРИЗе можно рассматривать как канал передачи дискретной информации от инструмента к изделию, в котором инструмент является источником, а изделие приемником двоичных сигналов [19]. Введем пространство входов источника из двух случайных событий:

$x1$ – инструмент является слабым с вероятностью $p(x1)$,

$x2$ – инструмент является сильным с вероятностью $p(x2)$,

Названия состояний инструмента являются условными, введенными по аналогии с состояниями возбужденного и не возбужденного реле. Главное, что они являются противоположными, что соответствует правилам АРИЗа.

Сформулируем ТП в соответствии с АРИЗ 85В.

ТП-1: Если инструмент слабый, то он не делает полезное действие изделию с вероятностью $p(y1/x1)$, и не делает вредное действие изделию с вероятностью $p(y2/x1)$;

ТП-2: Если инструмент сильный, то он делает полезное действие изделию с вероятностью $p(y2/x2)$, и делает вредное действие изделию с вероятностью $p(y1/x2)$.

Теперь становится ясным, какие два случайных события образуют пространство выходов источника:

$y1$ – нежелательный эффект от бинарного отношения инструмента и изделия с вероятностью $p(y1)$,

$y2$ – желательный эффект от бинарного отношения инструмента и изделия с вероятностью $p(x2)$.

Бинарное отношение типа «нежелательный эффект» образуют два события: слабый инструмент не делает полезное действие изделию с вероятностью $p(y1/x1)$ и сильный инструмент делает вредное действие изделию с вероятностью $p(y1/x2)$ (рис.4.2).

Рис. 4.2. Структурная схема технического противоречия

Введем понятие энтропии нежелательного эффекта $H(y1x1, y1x2) = -[p(y1/x1)\cdot \log\, p(y1/x1) + p(y1/x2)\cdot \log\, p(y1/x2)]$,

которое и будет информационной оценкой нежелательного эффекта. С точки зрения передачи информации в двоичном канале эта энтропия эквивалентна энтропии помех в канале, ложных срабатываний/не срабатываний контактов реле. Чем выше энтропия, тем больше и нежелательный эффект. При решении изобретательской задачи, т.е. разрешении ТП, уровень энтропии снижается. Если конфликт разрешен полностью, то энтропия нежелательного эффекта становится нулевой.

Однако надо иметь в виду, что зависимость энтропии от вероятностей не является всюду возрастающей кривой. При возрастании вероятностей энтропия достигает максимума, после которого начинает снижаться. Для определения точки максимума найдем частные производные от энтропии $H(y1x1,y1x2)$ по условным вероятностям $p(y1/x1)$ и $p(y1/x2)$ и приравняем их нулю:

$$
\begin{aligned}
\frac{\partial H(y1x1, y1x2)}{\partial p(\mathrm{y}1/x1)} &= \frac{-\ln(p(\mathrm{y}1/x1))}{\ln(2)} - \frac{1}{\ln(2)} = 0 \\
\frac{\partial H(y1x1, y1x2)}{\partial p(\mathrm{y}1/x2)} &= \frac{-\ln(p(\mathrm{y}1/x2))}{\ln(2)} - \frac{1}{\ln(2)} = 0
\end{aligned}
\quad . \qquad (4.7)
$$

Отсюда находим корни системы уравнений $p(y1/x1) = p(y1/x2) = \exp(-1) \approx 0.368$. При дальнейшем увеличении условных вероятностей энтропия нежелательного эффекта снижается. Когда $p(y1/x1) = p(y1/x2) = 1$, то ложные срабатывания/несрабатывания реле становятся достоверными событиями, обладающими нулевой энтропией. Следовательно, оценка работает до вероятностей, не превышающих 0.368, что соответствует и физике задачи.

Если поделить энтропию нежелательного эффекта на время T решения задачи изобретателем, то получим пропускную способность, характеризующую работу изобретателя

$$C = H(y1x1, y1x2)/T.$$

Чем больше пропускная способность изобретателя, тем больше нежелательного эффекта он снижает за единицу времени.

4.2.3. Пример оценки пропускной способности изобретателя

В примере рассмотрим известную изобретательскую задачу о запайке ампул **с** жидким лекарством [20]. В качестве инструмента выбираем язычок пламени газовой горелки, а изделием является ампула с лекарством. Нежелательным эффектом является брак при запайке. ТП формулируется следующим образом:

ТП-1. Если пламя слабое, то оно не запаивает ампулу с вероятностью $p(y1/x1)$, но не портит лекарство с вероятностью $p(y2/x1)$,

ТП-2. Если пламя сильное, то оно запаивает ампулу с вероятностью $p(y2/x2)$, но портит лекарство с вероятностью $p(y1/x2)$.

Нежелательным эффектом являются не запайка ампул и порча лекарства. Допустим, для прототипа изобретения брак составляет 6 % от числа запаянных ампул, из них 4% - от плохой запайки, и 2% - от перегрева и порчи лекарства. Тогда соответствующие условные вероятности можно оценить по частотам повторения событий $p(y1/x1) = 4/100 = 0.04$, $p(y1/x2) = 2/100 = 0.02$. Энтропия нежелательного эффекта $H(y1x1, y1x2) = -[0.04\cdot\log 0.04 + 0.02\cdot\log 0.02] = 0.299$ бит/сообщение.

Если нежелательный эффект устранен полностью, а время решения задачи составило 4 часа, то пропускная способность изобретателя

$$C = 0.299/4 = 0.075 \text{ бит/сообщение}\cdot\text{час}.$$

Если нежелательный эффект в результате решения не полностью устранен, а только снижен, например, $p(y1/x1) = 0.01$, $p(y1/x2) = 0.01$, то

$$H1(y1x1, y1x2) = 0.133 \text{ бит/сообщение}.$$

Эффект снижения энтропии оценивается как разность $\Delta H = H(y1x1, y1x2) - H1(y1x1, y1x2) = 0.299 - 0.133 = 0.166$ бит/сообщение, и пропускная способность при том же времени решения четыре часа равна $C = 0.00415$ бит/сообщение·час.

Литература

1. 12/02/2013. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. — Новосибирск: «Наука», Сибирское отделение, 1986. — 209 С.
2. Быстров С. В., Бобцов А. А., Григорьев В.В., Бойков В. И., Бушуев А. Б. Устройство для испытания пьезоэлектрического привода и его элементов. Патент на полезную модель № 76138, публ. 10.09.2008. Бюл. № 26.
3. Бушуев А.Б. Математическое моделирование процессов технического творчества: Учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. — 181 С.
4. Быстров С. В., Бобцов А. А., Григорьев В.В., Бойков В. И., Бушуев А. Б. Пьезоэлектрический привод. Патент на полезную модель № 87043 от 20.09.2009. Бюл. № 26.

5. Гражданский кодекс РФ (часть четвертая) Глава 72.
6. Вишневецкий Л.М., Иванов Б.И., Левин Л.Г. Формула приоритета. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1990. — 205 С.
7. Филиппов А.М., Бушуев А.Б. Способ регулирования потока горючей смеси в карбюраторах двигателей внутреннего сгорания и малый диффузор для его осуществления. Патент России № 2136937, публ. 10.09.1999. БИ № 25
8. Бушуев А.Б., Григорьев В.В., Смирнов А.В. Способ регулирования давления газа и устройство для его осуществления. Авт. св-во СССР № 1833850, публ. 15.08.1993. БИ № 30.
9. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания / Под редакцией Б. В. Гнеденко. — М.: Физматгиз, 1963. — 236 С.
10. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. М.: Энергия, 1980 — 424 С.
11. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. — М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы,1956. — 567 С.
12. Г.С. Альтшуллер, Б.Л.Злотин, А.В.Зусман, В.И.Филатов. Поиск новых идей. От озарения к технологии. – Кишинев: Картя Молдовеняске, 1989. – 381 С.
13. Кынин А.Т. Сегментация S- кривых. Metodolog [Электронный ресурс]: <http://www.metodolog.ru/node/428> 14/01/2010.
14. Бушуев А.Б., Михайлов С.В., Рюхин В.Ю., Мансурова О.К. Оценка уровня развития технических систем по формулам изобретений. Известия вузов. Приборостроение, 1998. т.41. №7
15. Бушуев А.Б., Чепинский С.А. Структурно-патентный анализ технических систем// Сборник докладов конференции TRIZ fest-07 "Теория и практика решения изобретательских задач". Москва, 2007. с.240-246.
16. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. — М: Издательство иностранной литературы, 1963. — 829 С.
17. Moore E., Shannon C. Reliable, circuits using less reliable relays. Journal of the Franklin Institute, №3 (1956), 191; № 4, 281.
18. Ушаков А.В. Прикладная теория информации: элементы теории и практикум — СПб: НИУ ИТМО, 2012. — 325 С.

19. Бушуев А.Б. Информационная оценка нежелательного эффекта в АРИЗ. Metodolog [Электронный ресурс]: <http://www.metodolog.ru/node/1627 > 12/02/2013.
20. Альтшуллер Г.С., Селюцкий А.Б. Крылья для Икара: Как решать изобретательские задачи.- Петрозаводск: Карелия, 1980. - 224 С.

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Кафедра систем управления и информатики основана в 1945 году и является одним из ведущих российских центров по подготовке бакалавров, магистров и аспирантов по специальности « Управление и информатика в технических системах». За прошедшие годы было подготовлено свыше 4000 дипломированных специалистов, свыше 100 аспирантов стали кандидатами технических наук, 16 человек стали докторами технических наук. Научные интересы – теория автоматического управления, микропроцессорные системы, робототехника, радиооптика, телемеханика и прикладная информатика. Педагогический штат состоит их 4 профессоров и 15 доцентов.

Александр Борисович Бушуев

Информационная оценка уровня развития техники

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО

Зав. РИО Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел

Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49