

ГОРНО-ШАХТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ.

Mining Equipment and Systems

Theory and Practice of Exploitation and Reliability

Jacek M. Czaplicki

*Mining Mechanization Institute, Silesian University of Technology,
Gliwice, Poland*



CRC Press

Taylor & Francis Group

Boca Raton London New York Leiden

CRC Press is an imprint of the
Taylor & Francis Group, an informa business

A BALKEMA BOOK

Горно-шахтное оборудование и системы.

*Теория и практика эксплуатации и
надежности*

Яцек М. Чаплицкий

*Институт механизации горного дела, Силезский технологический
университет, Гливице, Польша.*



CRC Press

Taylor & Francis Group

Boca Raton London New York Leiden

CRC Press is an imprint of the
Taylor & Francis Group, an **informa** business

A BALKEMA BOOK

УДК 622.1/2
ББК 33.1
Ч-19

Впервые издано в мягкой обложке в 2017 году

Роутледж - это печатное издание групп компаний Тейлор & Фрэнсис, информационного бизнеса

© 2010 Taylor & Francis Group, Лондон, Великобритания

Напечатано в Vikatan Publishing Solutions (P) Ltd., Ченнаи, Индия

Все права защищены. Никакая часть этой публикации или информации, содержащей здесь, не может быть воспроизведена, сохранена в поисковой системе или передана в любой форме или каким-либо образом, электронная, механическая, фотокопируя, делая запись или иначе, без письменного предшествующего разрешения от издателя.

Хотя всю заботу соблюдают, чтобы гарантировать целостность и качество этой публикации и информации здесь, никакая ответственность не принята на себя издателями, ни автором ни для какого повреждения собственности или людей в результате операции или использования этой публикации и/или информации, содержащей здесь.

Изданный: CRC Press/Balkema
Почтовый ящик 447, 2300 Лейдена АК, Нидерланды
электронная почта: Pub.NL@taylorandfrancis.com
www.crcpress.com – www.taylorandfrancis.co.uk – www.balkema.nl

Библиотека Конгресса Каталогизация данных в публикациях
Яцек М. Чаплицкий

Горно-шахтное оборудование и системы. Теория и практика эксплуатации и надежности/ Яцек М. Чаплицкий
р. см.

Включает библиографические ссылки и указатель.

ISBN 978-0-415-87731-2 (твердый переплет : alk. paper) -- ISBN 978-0-203-85280-4 (электронная книга) 1. Горное дело. 2. Горное оборудование. I. Название.

TN146. C93 2010
622.028'4 - dc22

2009044089

ISBN 13: 978-1-138-11403-6 (pbk)
ISBN 13: 978-0-415-87731-2 (hbk)

ISBN 978-601-333-631-2 (рус)

Содержание

Предисловие и подтверждения	ix
Об авторе	xi
Список главных примечаний	xiii
1. Введение: теротехнология и теория эксплуатации	1
2. Теория эксплуатации	11
2.1. Основные принципы	11
2.2. Теория эксплуатации в горной промышленности — предварительные выборы	16
3. Статистическая диагностика	19
3.1. Хаотичность образца	21
3.2. Анализ выбросов	25
3.3. Стационарное испытание последовательностей	33
3.4. Стационарное испытание на различие в последовательностях	38
3.5. Циклическое отслеживание компонентов	43
3.6. Анализ автокорреляции	53
3.7. Однородность данных	57
3.8. Взаимная независимость случайных переменных	62
3.9. Взаимная зависимость случайных переменных	64
4. Процессы эксплуатации — тематические исследования	75
4.1. Процесс эксплуатации подземного монорельсового подвесного локомотива.	76
4.2. Процесс эксплуатации грузовика в системе лопатно- транспортного средства.	86
4.3. Процесс эксплуатации силовой лопаты	95
4.4. Процессы эксплуатации непрерывной шахты и шаттл-автомобиля	98
5. Модели надежности, применяемые для одной единицы оборудования	109
5.1. Ленточные конвейеры	109
5.2. Спускоподъемные установки	121
5.3. Подъемные веревки	126
6. Системы машин, работающих параллельно	163
7. Системы машин в непрерывной операции	171
7.1. Введение	171
7.2. Принципы сокращения серийных систем	176

7.3.Тематические исследования	179
7.4.Системные вычисления	202
7.5.Быстрое приближение системного вывода	204
7.6.Полумарковские системы	205
8. Циклические системы - выбранные проблемы	229
8.1.Общая модель теории очереди	229
8.2.Математическая классификация циклических систем	233
8.3.Проблема ремонтника	234
8.4.Пальмовая модель	236
8.5.Система без потерь	240
8.6.Системы Эрланга	243
8.7.Модель Такас	251
8.8.Модель Марианович	258
8.9.Рандомизированная модель Марианович	264
8.10.Модель $G/G/k/r$ для ситуации с интенсивным движением	272
9. Объединенные системы	285
9.1.Система лопатно-транспортного средства и дробление в карьере.	285
9.2.Система лопатно-транспортного средства и наклонный подъемник грузоподъемного типа.	306
9.3.Поток извлечённой горной породы с подъемником.	329
10. Специальная тема: гомогенность лопатно-транспортного средства	357
Ссылки	367
Предметный указатель	383

Предисловие и подтверждения

В Польше горнодобывающая промышленность - несколько старых веков. Это быстро росло в девятнадцатых и двадцатых веках и все еще имеет хорошие перспективы будущего. В результате горные инженеры в этой стране предприняли большое хорошее исследование. К сожалению, эта работа иногда неизвестна в мировой литературе. Поэтому я чувствую, что полезно издать результаты части этого исследования на английском языке.

Это - почти пятьдесят лет, с тех пор как первые работы на применении теории надежности к добывающим проблемам были опубликованы в Соединенных Штатах. Развиваясь быстро в конце 1950-х и 1960-х, теория надежности быстро нашла широкое применение в горной промышленности разработки. Однако в относительно короткое время, центральноевропейские исследователи участвовали в расследованиях надежности, найденных, что очень часто эти экспертизы должны охватить более широкий объем соображений, шире, чем область, связанная строго с проблемами надежности. Таким способом теория эксплуатации возникла.

Мой опыт в этой области начался в 1973, когда я работал над своим тезисом M.Sc. по надежности главных моих подъемов веревок. В начале моей научной карьеры я был занят исключительно с проблемами надежности. Время передало и мои интересы, увеличенные вне анализа надежности мои машины и их системы, и оказалось в области теории эксплуатации. После нескольких лет опыта в этой области я чувствую, что пора поделиться знаниями, полученными на более широком форуме.

Эта книга представляет мою точку зрения о проблемах надежности и эксплуатации в горной промышленности — и практический и теоретический. Состав этой книги несколько отличается от других в этом отношении. Большинство текстов обычно заказывается согласно теоретической схеме исключительно. В этой книге теоретические проблемы сформулированы в связи с практическими проблемами, и соответствующая литература процитирована так, чтобы читатели могли увеличить свое знание о данном аспекте. Кроме того, данные, представленные здесь, собраны от нескольких шахт, расположенных в разных странах. Некоторые читатели могут рассматривать эту книгу как представленный набор математических инструментов, полезных в анализе проблем эксплуатации и надежности добывающего оборудования и его систем.

Кстати, где литература от области надежности в горной промышленности затронута, кажется, что есть отсутствие всемирно признанного учебника в этой области. Я надеюсь, и предназначен, чтобы помочь заполнить этот промежуток.

В моих двух книгах, написанных на английском языке, я представил схему теории моделирования, анализа и вычисления мои системы оборудования кроме методов для вычисления систем железнодорожного транспорта или систем готовности шахты.

Эта книга посвящена — в первую очередь — студентам добывающих факультетов и школ горной промышленности со специализацией в механизации шахты во всем мире. Они всегда были близки моему сердцу, неважно, в которой части мира я читал лекции. Некоторые главы книги могут быть интересными для тех, кто специализируется на землеройных предприятиях. Студенты математики, ищущей практическое применение моделей математической статистики, теории надежности, теории возобновления и теории очереди, могли бы найти некоторые главы интересными также. Я предполагаю, что горные инженеры также найдут некоторые части полезными. Кроме того, я надеюсь, что мои дорогие академические коллеги, работающие в добывающих университетах, также найдут эту книгу интересной, и полезной в их образовательной работе.

Предисловие и благодарность

Я хотел бы выразить свою очень теплую благодарность г-же Микеле Симмонс за языковое редактирование и Янжапу Блему, старшему издателю CRC Press/Balkema - Taylor и Francis Group, а также его открытой и высокопрофессиональной команде за их надежное и эффективное сотрудничество.

Яцек М. Чаплицкий

Институт механизации горного дела
Силезский технологический университет, Гливице, Польша

Об авторе



Яцек М. Чаплицкий более тридцати лет является академическим преподавателем и постоянно ассоциируется с родным университетом. Однако он покинул свою школу на пару лет, читая лекции в африканских университетах. В течение трех лет он работал в Кварском государственном технологическом колледже в Илорине (Нигерия) по проекту ЮНЕСКО. Несколько лет спустя он был назначен в компанию Zambia Consolidated Copper Mines Ltd. и работал лектором в Горной школе Университета Замбии в рамках проекта Всемирного банка. Яцек М. Чаплицкий

получил степень магистра наук по механизации шахт в Силезском технологическом университете, Гливице, Польша.

Он также получил степень доктора технических наук. Позже он подал диссертацию и выполнил все требования, получив степень доктора наук в области горного дела и геологической инженерии со специализацией "Шахтное оборудование" в том же отечественном университете. Фактически он является профессором горного дела. Он опубликовал более ста тридцати работ и около десяти книг в Польше и за рубежом. Его специализация включает в себя транспортировку шахт, надёжность и расчет шахтных машин и их систем, а также надёжность подъемных канатов. Является международно признанным специалистом по механизации шахт.

Список главных примечаний

A	установившаяся доступность
B	коэффициент доступности
E	математическое ожидание, математическая надежда
G	общий случай, общее распределение
N_0, N_1	количество ремонта стоит
$H(t)$	длина веревки, ожидаемая ежедневная масса скалы поднята из производственного уровня
k	количество грузовиков предписало выполнять задачу транспортировки
L	длина каната, ожидаемая суточная масса породы, поднятой с уровня добычи
L_t	число теоретически возможных состояний
M	(Марков), показательное распределение
m	количество грузовых автомобилей, направленных на выполнение транспортной задачи
M	(Марков), показательное распределение
n	количество сгребает систему
N	объем выборки
P, p	вероятность
$P_{(p)}$	вероятность, что d совки власти имеют работу состояние
P_{kd}	
$P_{(p)}$	вероятность, что b грузовики имеют работу состояния
P_{wb}	
q	количество ветров выполнено подъемом/веревкой
r	зарезервируйте размер, количество запасных грузовиков
$r^{(a)}$	автокоэффициент корреляции
$r^{(s)}$	Коэффициент корреляции разряда Спирмана
$r \alpha(n)$	критическое значение Спирмана оценивает коэффициент корреляции
R_{XY}	эмпирический коэффициент корреляции Пирсона, оценщик
$R \mathfrak{g}(\phi)$	надёжность (выживание) функция веревки
S	эмпирическое стандартное отклонение
S_n	область поперечного сечения веревки, металлическая область веревки
t	время
$t \alpha(N)$	квинтиль заказа
αt	<i>распределения</i> Студента со степенями свободы
T_c	означают время цикла работы грузовика
$T^{(h)}$	среднее время цикла работы подъема
T_d	время утилизации лебедки в день
T_t	среднее время путешествия на грузовике (перевозка + сваливают + возвращение),

T_n, T_p –	среднее время: ремонт, работа
u –	остаток
u_α	квинтиль заказа α стандартизированного нормального распределения
v, V –	разряд
y –	объем мусорного ведра шахты
Z –	случайная переменная, общая ежедневная масса поставила в шахту на данном подземном уровне
Z' –	означают приспособленное время загрузки совком
α –	уровень значения
Δ –	потеря времени функционирует для грузовика
θ –	эмпирическое общее количество трещин проводов подъема возглавляет веревку
Θ –	теоретическое общее количество трещин проводов подъема возглавляет веревку
κ –	частота ремонтов (обвиняют коэффициент),
λ –	интенсивность неудач объекта, параметр показательной плотности распределения
$\lambda(t)$ –	функция опасности
μ –	интенсивность ремонта объекта
ρ –	коэффициент корреляции в населении, темп интенсивности потока в сервисной системе
$\rho^{(P)}_{X, Y}$	коэффициент корреляции Пирсона
σ –	стандартное отклонение случайной переменной
τ –	пропорциональный коэффициент, указывающий, сколько раз более длинно среднее время погрузки грузовика фронтальным погрузчиком по сравнению с приспособленным средним временем загрузки совком
ϑ –	случайная переменная, общее количество трещин проводов через мгновение отказа веревки
$\phi_N(X)$ –	стандартизированная плотность распределения случайной переменной $N(0, 1)$
$\Phi_N(X)$ –	стандартизированная функция распределения случайной переменной $N(0, 1)$
$B(a, b)$ –	бета распределение с параметрами a, b
$F(2N, 2N)$	–Распределение вероятности Распределение Фишера с $(2N, 2N)$ степени свободы
$Ga(k, \varsigma)$ –	гамма распределение с параметрами k, ς
$N(m, \sigma)$ –	нормальное распределение с параметрами m, σ
$t(N)$ –	Распределение студента со степенями свободы N
$\chi^2(N)$ –	распределение хи-квадрат со степенями свободы N

Ⓓ – решения, принятые системным диспетчером (диспетчер грузовика)

Ⓔ – репертуар эксплуатации

Ⓗ – набор совков власти

Ⓜ – метод использования

Ⓝ – набор натуральных чисел

ⓦ(Ⓔ, Ⓓ) – процесс эксплуатации системы грузовика совка

Ⓓ – система обслуживания

Ⓓ – достаточная система обслуживания

Ⓓ² – недостаточная система обслуживания

Ⓝ – набор действительных чисел

Ⓡ – набор ремонта стоит

Ⓕ – состояние объекта

Ⓔ – система

ⒺⓂ – набор грузовиков

Случайные переменные обычно отмечают в смелом; это не относится к готическим письмам.

Каждый пример, который рассматривают, начинается со знаком **■** и заканчивается со знаком.

ГЛАВА 1

Введение: теротехнология и теория эксплуатации

Технология дала инженерам очень широкий спектр технических объектов и пунктов с обширными способностями выполнить множество требований. Обычно, эти устройства настроены в системах, чтобы выполнить задачи набора, такие как извлечение или транспортировка массового материала, демпинг, механическая, химическая или тепловая обработка, и так далее. Оборудование, используемое в этих системах обычно, усложняло строительство и должно управляться согласно рекомендациям производителя и точному совету, если соответствующий уровень работы должен быть достигнут. Пользователи технических объектов должны обратить внимание на реализацию эксплуатации объекта — понятый здесь как процесс изменений свойств объекта, бегущих вовремя. Эти изменения также интересны для проектировщиков и производителей этих объектов. Они - интересное место для пользователей объекта — после того, чтобы тратить деньги, чтобы купить техническое оборудование, пользователи ожидают, что он выполнит свои обязанности и функции наиболее удобным способом.

В вышеупомянутом параграфе использован термин эксплуатация. Этот термин может быть немного странным для носителей английского языка. Поэтому было бы выгодно начать дискуссию о предмете этой книги, дав некоторые объяснения взаимоотношений между теротехнология и теорией эксплуатации. Эти отношения не также известны в англоязычной части технического мира, как это находится в Центральной Европе, где теория эксплуатации родилась.

Теория эксплуатации технических объектов и пунктов в настоящее время хорошо разработана в Центральной и Восточной Европе, и особенно в Польше. Объем теории — определения основных условий, принципов, методов расследования, правил и методов описания — хорошо определены, но связь с англоязычным миром в этой области трудная. Прямой перевод термина *teoria eksploatacji* как 'теория эксплуатации' почти всегда не работает в практике. И с другой стороны термин 'теротехнология' не очень популярен в техническом мире в этой части Европы. Аналогичная ситуация возникает с *eksploatacją* процесса термина, который непосредственно переведен как 'процесс эксплуатации'. Есть также некоторые проблемы с английским термином 'операция'. Это - специфическая ситуация, которая все еще создает проблемы. Некоторые объяснения, кажется, неизбежны.

Давайте начнем с нескольких примечаний по истории разработки теории эксплуатации в Польше.

Первые работы, которые исследовали проблемы эксплуатации/операции с машинами, были опубликованы в 1960-х (ср. Зиемба 1973). Термин 'эксплуатация теории' был первоначально связан с оборудованием, и позже расширился, чтобы покрыть более общее применение — эксплуатация технических объектов. В это время быстрый прогресс наблюдался в области

трибологии, и теория надежности возникала. В конце 1960-х Комитет по Машиностроению польской Академии наук создал Раздел Эксплуатации Машин с тремя группами темы: трибология, надёжность и эксплуатация. Четвертая группа темы, техническая диагностика, приехала позже (1980). Относительно только что прибывший - 'безопасность', и эта группа темы — вместе с другими четырьмя — существовала в течение почти десяти лет. В конце 1960-х и начала 1970-х, ежеквартальные проблемы Эксплуатации с Машинами были установлены польской Академией наук. Впоследствии, некоторые дальнейшие технические периодические издания, которые сосредотачиваются на эксплуатации, были основаны.

Обычно быстрый рост теории надежности, отмеченной в 1960-х и 1970-х, ускорил разработку теории эксплуатации. Исследователи, вовлеченные в проникающие соображения надежности быстро, пришли к выводу, что много проблем, связанных с использованием объекта/пункта (элемент или система согласно теории надежности) в реальных условиях, нужно было рассмотреть в более широком объеме. Было необходимо принять во внимание некоторые свойства объекта, не связанного с надёжностью прямым способом, а скорее связанного с процессом применения объекта в особенности условия работы. Исследователи интересовались тем, что произошло со многими свойствами объекта во время использования объекта и во время его обслуживания. Значительная часть теории надежности, поэтому, принадлежит в рамках теории эксплуатации; однако, у теории эксплуатации есть намного более широкий объем, чем та из теории надежности.

Чистые теоретические расследования соединились с теорией использования объекта и обслуживания (который является эксплуатацией объекта), были выполнены, приведя к некоторым значительным — в то время — книги, такие как Каневская 1965, Боярский 1967, Конецкий и др. 1969, Конецкий 1971 и Олеарчук 1972. Во второй половине 1960-х были проведены первые Национальные Симпозиумы по Эксплуатации Технических Объектов. В 1973 исследование эксплуатации для докторской степени предлагалось (Конецкий 1973) впервые. Теория эксплуатации оказалась очень полезной на практике. Доказательства этого заявления могут быть найдены, считая проблемы операции моими системами оборудования, например (см., например, Сажкиевич 1974, 1975, Чаплицкий и Лутыцкий 1982, 1987).

Термин эксплуатация прибывает из французской эксплуатации слова, что означает, в первую очередь, использование. В связи с техническими проблемами эксплуатация основана на заявлении, что это - использование чего-то рациональным способом.

В 1970-х много было издано на эксплуатации в Центральной и Восточной Европе, и после нескольких лет интенсивного развития, теория была хорошо установлена. Исследователи, вовлеченные в эти виды исследований, пришли к выводу, что эксплуатация технического объекта - ряд намеренных действий, бегущих во время технической, экономической и организационной природы, направленной на этот объект, а также взаимоотношения, существующие между ними (люди, сотрудничающие и объект) с момента первого

использования объекта до его отказа и распоряжения (польский Стандарт PN-82/N-04001). Подобные определения могут быть найдены в стандартах соседних стран.

Больше двадцати лет теория эксплуатации была предложена как отдельный предмет лекции в связи с использованием различных классов технических объектов в нескольких технических университетах, таких как Варшавский технологический университет и Технологический университет Вроцлав. Много книг и учебников были изданы (например, Адамкевич 1982, Даунарович 1997, Камирзак 2000, Бдковский и Дбровский 2006). Теория эксплуатации оказалась и важной и полезной.

В англоязычном мире термин 'эксплуатация' в этом смысле не существует. У слова на английском языке есть много отрицательных значений. Согласно thesaurus.com синонимы включают коррупцию, неправильно, непорядочность, преступление, варварство, неправильное употребление, обман и даже 'нежелательное сексуальное домогательство', и Википедия дает связи с марксистской теорией. Обычно у термина есть многие неприятные ассоциации на английском языке 1 поэтому, чрезвычайно трудно получить принятие термина эксплуатация — в точном техническом смысле — в англоязычных частях мира.

Общепринятый взаимозаменяемый термин для теории эксплуатации - теротехнология. Оба термина означают примерно то же самое, но они не идентичны в своем значении. Есть различия в том, как конкретная проблема должна быть решена теорией эксплуатации и теротехнология, а также в пределах рассмотрения обеих теорий и их основных моментов интереса.

История раннего развития теротехнология отличалась в Соединенном Королевстве, где дисциплина родилась, и в Центральной Европе. Однако период этого раннего развития - примерно то же — конец 1960-х. В Соединенном Королевстве у проблемы обслуживания объектов есть своя собственная история, и это частично отделилось от надежности, когда национальные конференции были проведены в эту тему в 1960-х. В 1967 Британский совет Ассоциаций Обслуживания был основан. После нескольких лет, в которых было издано огромное количество работ и эмпирического и теоретической природы, был создан Комитет по Теротехнология. Потребовалось два года, чтобы договориться об определении теротехнология.

Есил у пообещанного или фразы есть хорошая коннотация, у носителей английского языка нет возражений на использование ее. В добывающей науке у нас есть мой тип, названный 'отверстием славы'.

Это - комбинация управления, финансового, разработка и другие методы относились к физическим активам в преследовании затрат цикла экономической жизни. Практика теротехнология касается спецификации и дизайна для надежности и ремонтнопригодности завода, оборудования, оборудования, строительства и структуры, с их установкой, вводом в действие, обслуживанием, модификацией и заменой, и с обратной связью информации, работы и стоит (Хеугилл и Паркс 1979).

В будущем теротехнология будет существенным элементом хорошего земледелия качества и способности понять, что артефакт передает ресурсы и в его создании и в его последующем использовании ..., результат такого подхода может привести к продукту, у которого есть высокая начальная стоимость и долгая надежная жизнь, или который является дешевым с короткой жизнью и ожидаемой заменой, или у расстройства ... Теротехнология есть простая цель — то из уменьшения целой жизненной стоимости собственности — но ее практика может быть сложной, включив взаимозависимости и отношения разнообразия ресурсов — люди, деньги, материал, идеи и методы (Дарнелл 1979).

Предполагалось, что статьи Финнистон (1973), Раппини (1973) и Вигел (1974) могли быть взяты в качестве сообщений о новаторской работе в области теротехнология. Все авторы были связаны с интегрированным железом и сталелитейным заводом. Поэтому теротехнология - недавняя практика с ее формальным определением, разработанным в 1972, и ее начало было как практический метод для эффективного и своевременного обслуживания в интегрированном утюге и сталелитейном заводе. Одним из пионеров был Эванс, доклад которого был сделан на конференции в Дареме, Великобритания в 1974. Первый Международный Конгресс по Теротехнология был проведен в Лондоне в мае 1979.

В 1981 Тамаки сформулировал термин полное продуктивное обслуживание (TRM). Было указано, что это - применение теротехнология японцами их собственным способом. В его преследовании экономики в затратах жизненного цикла у TRM есть идентичная цель к теротехнология, но это отличается в своем подходе. TRM основан на предположении, что причины отказа оборудования и низкого качества междисциплинарные и что необходимо иметь ориентированную заводом организацию управления, и это подчеркивает потребность в полном участии трудовых ресурсов. После этой линии рассуждения, Takahashi (1981) определенные определенные побуждения для защиты последующего принятия TRM в Японии. Понятие TRM выглядит жизненно важным, и кажется, как будто у этого есть будущее (Смит и Мобли 2007).

Чтобы получить некоторое представление о теротехнологии сегодня, некоторые цитаты должны быть взяты к рассмотрению. В 1993 BS3811, Глоссарий терминов, используемый в Теротехнологии, был издан. Этот британский стандарт дает следующее определение: комбинация управления, финансового, разработка, строительство и другие методы, относилась к физическим активам в преследовании стоимости цикла экономической жизни.

Книга 2003 Бхэндери и Бэзу по теротехнология — вероятно, первому примеру такой всесторонней разработки на английском языке — указанный кратко:

Теротехнология — понятие, нет, философия.

Согласно словарю MSN онлайн (2007) теротехнология:

отрасль технологии, которая использует организаторские и финансовые экспертные знания, а также технические навыки, устанавливая и бегущее оборудование.

Инвестопедия (2007), состояние:

Слово произошло из греческого слова корня 'tero', или 'I sage', который теперь используется с термином 'технология', чтобы относиться к исследованию затрат, связанных с активом всюду по его жизненному циклу — от приобретения до распоряжения. Цели этого подхода состоят в том, чтобы уменьшить различные затраты, понесенные на различных стадиях жизни актива и получить методы, которые помогут расширить продолжительность жизни актива. Теротехнологджи использует инструменты, такие как чистая приведенная стоимость, внутренняя норма прибыли и дисконтированный денежный поток в попытке минимизировать затраты, связанные с активом в будущем. Эти затраты могут включать разработку, обслуживание и заработную плату, подлежащую оплате, чтобы управлять оборудованием, эксплуатационными расходами и даже затратами распоряжения. Также известный как 'ценный жизненный цикл'.

Например, скажем, нефтяная компания пытается планировать затраты на платформу морской нефти. Это использовало бы теротехнологию, чтобы планировать точные затраты, связанные с сбором, транспортировкой, обслуживанием и устранением платформы, и наконец вычисление ликвидационной стоимости. Это исследование не точная наука: есть много различных переменных, которые должны быть оценены и приближены. Однако компания, которая не использует этот вид исследования, может проиграть материально, чем та, которая приближается к жизненному циклу актива более специальным способом.

По en.wikipedia.org (2008) мы можем найти следующие заявления:

Теротехнология - управление экономикой активов. Это - комбинация управления, финансового, разработка и другие методы относились к физическим активам, таким как завод, оборудование, оборудование, здания и структуры в преследовании затрат цикла экономической жизни. Это касается надежности и ремонтпригодности физических активов и также принимает во внимание процессы установки, ввода в действие, операции, обслуживания, модификации и замены. Решения под влиянием обратной связи на дизайне, работе и информации о затратах всюду по жизненному циклу проекта. Это может быть применено одинаково к продуктам, поскольку продукт одной организации часто становится активом другого.

Термин теротехнология может также быть найден в деловом словаре онлайн (www.businessdictionary.com, 2008, к которому получают доступ), где следующее заявление дано:

Мультидисциплинарный подход к получению максимального экономического эффекта от физических активов. Развитый в Великобритании в начале 1970-х, это включает систематическое применение разработки, финансовой, и экспертные знания управления в оценке влияния жизненного цикла приобретения (здания, оборудование, машины, заводы, структуры) на

доходах и расходах организации приобретения. Практика теротехнология - непрерывный цикл, который начинается с дизайна и выбора необходимого пункта, выполняет с его установкой, вводом в действие, операцией и обслуживанием — до удаления и распоряжения пункта — и затем перезапускает с его заменой. От греческого слова 'terein', чтобы охранять или заботиться. Terotechnol-ogy находится в бухгалтерском учете & ревизии отраслей промышленности, производстве & технологии, и [в] покупке & приобретении.

Теротехнология стал отдельной учебной дисциплиной. Школа Нефтегазовой Разработки в Университете Западной Австралии, например, предлагает курс теротехнологии (код ASST8577 курса), хотя рекомендуемое чтение курса включает книги по обслуживанию, замене и надежности исключительно.

Университет Монаша, у Австралии есть курс о теротехнология, и жизненный цикл стоит (код GEG7014) в Факультете Последипломного образования Разработки (продолжительность курса: 150 часов). Первое предложение в проспекте курса читает 'Введение в управление активами и теротехнология', предполагая, что эти два вопроса отличаются.

Университет Векшё, Швеция, предлагает программу мастер в теротехнологии, в котором у студентов должен быть профиль в производственных системах, который является быть начальниками производства, творческими качественными разработчиками или проектировщиками обслуживания. В листовке курса можно найти заявление: 'Terotech-nology о том, как оптимизировать производственную часть организации'.

Чтобы завершить это обсуждение определения теротехнология, два замечания должны быть упомянуты.

В 2004 и 2005 Белак из Хорватии опубликовали две работы на проблеме теротехнология. В его работе 2004 года он проанализировал положение теротехнология в общем подходе к планированию, дизайну, производству, установке, обслуживанию, обслуживанию, списанию и переработке технической системы. Он указал, что теротехнология также связан с экономикой, стоимостью жизненного цикла и обслуживанием. По словам этого автора теротехнология нужно рассматривать как процесс оптимизации, одну оптимизацию отношения между полным эффективным или потенциальным производством системы и совокупной стоимостью в ее жизни. Как статическое явление отношение может быть оптимизировано без отношения к влиянию рынка и бизнес-стратегии и политике. Процесс оптимизации должен включать надёжность, адаптируемость и доступность системы.

В статье 2005 года Белак — вместе с его соавтором Синь-Шайн — рассмотрел определения теротехнологии. Они указали на различия в определениях, которые являются источником недоразумений. По словам авторов, у всех определений есть аспект затрат, исследованных всюду по жизненному циклу систем деловой операции вместе; однако, понятие

теротехнология также включает доход, произведенный деятельностью системы деловой операции, то, что большинство теротехнология определений игнорирует.

Второе замечание должно быть сделано в сотрудничестве с работой, написанной Ибрагимом и Изъяном 2004. Они представили новое понятие и внедрение межконтинентального гибкого обучения теротехнология и затрат жизненного цикла (предполагающий, что эти две вещи отличаются), на основе опыта, полученного в Австралии и США.

В связи с отношениями между теротехнология и теорией эксплуатации часто замечается еще одно разногласие. В Центральной и Восточной Европе каждый слышит заявление 'во время эксплуатации'. Англоязычные исследователи склонны говорить 'во время операции', указывая, что это - более соответствующее заявление. Это так? Нет сомнения, что на общем английском языке такое заявление понятное и коммуникативное. Однако, живя среди носителей английского языка легко чувствовать, что слово 'операция' часто используется и имеет большое количество синонимов. Одно впечатление неоднократно возникает — это слово злоупотребляется. В общем использовании, обыденном языке, нет никакого возражения. Тем не менее, если строгий, точный научный язык должен использоваться, это слово похоже на взломщика. Thesaurus.com (2008) дает 48 значений слова 'операция', от обслуживания, прогрессии, силы, случая, движения, дела, соглашения, предприятия, успеха, дела, удар, чтобы сделать интервалы, измерить и хирургия. Это - чрезвычайно широкий спектр.

BS3811 дает следующую операцию по определению слова: комбинация всех технических и административных действий намеревалась позволить пункту выполнить необходимую функцию, признавая необходимую адаптацию к изменениям во внешней условии. Смотри на оба определения для 'операции' и 'эксплуатации', ясное впечатление выглядит неизбежным — оба термина означают приблизительно то же самое. Таким образом, пренебрегая тем, что у этого слова есть, возможно, слишком много обозначений и что в науке точные условия необходимы в этой книге, термины будут использованы попеременно. Для носителей английского языка это будет менее неприятно.

Давайте кратко подведем итог.

Теротехнология: понятие, комбинация методов, своего рода технологии, управления экономикой активов, мультидисциплинарного подхода, философии, процесса оптимизации.

У теротехнологии есть эти цели: минимизировать целую стоимость собственности по жизни объекта, получить максимальный экономический эффект из физических активов, уменьшить различные затраты, понесенные на различных стадиях жизни актива и получить методы, которые помогут расширить продолжительность жизни актива, оптимизировать отношение между полным эффективным или потенциальным производством системы и совокупной стоимостью в целой жизни системы.

Теория эксплуатации - строго определенная область науки, определяющей основные принципы эксплуатации/операции объектов рациональным способом.

У теории эксплуатации есть две цели: теоретический и практический. Теоретическая цель постигает механизмы, управляющие курсом изменений свойств объекта во время его использования и обслуживания. Практическая цель состоит в том, чтобы максимизировать экономический эффект от эксплуатации объекта во время жизни объекта, при условии, что требования техники безопасности выполнены.

Теротехнология существовала в течение почти сорока лет, и все же нет никакого заявления, что это - область науки! До настоящего времени это был центр многих различных определений и разных подходов. Основные моменты интереса расположены в немного отличающихся областях. Некоторые заявления не соглашаются. Единственное точное заявление, которое может быть сформулировано, - то, что 'мы примерно знаем то, о чем это - все'. И это - почти все. Не было никаких захватывающих теоретических успехов. У многих довольно хороших разработок есть частично научный, частично технический характер, но они не решают проблемы в способе, которым они должны согласно высоким требованиям, сформулированным теротехнология *sensu stricto*. Что вызывает такую ситуацию?

Анализ различных определений, мы находим, что основной момент интереса связан с целой стоимостью жизненного цикла объекта. И этот 'объект' в теротехнологии - система — сложная структура. Для человека, который знаком с теорией эксплуатации, это очевидно это заявления такой как 'достижение максимальной прибыли от эксплуатации объекта во время жизненного цикла объекта', 'достижение минимальных затрат, потраченных на объект во время его целой жизни', или, 'чтобы найти оптимум ... во время жизненного цикла объекта', слишком амбициозно! С теоретической точки зрения мы можем построить много математических образов, описывающих отношения между различными переменными, которые имеют влияние на 'затраты объекта'. Но действительно ли необходимо учесть значительное количество переменных, многих из них случайный, некоторые из них с неопознанными распределениями, и некоторые из них с большой дисперсией. Взаимные стохастические отношения между переменными обычно неизвестны. У нас часто есть функции многих из этих переменных. Если мы добавляем, что очень многие из этих соображений должны быть расположены в теории прогноза (как правило, тего-технологические соображения сделаны, когда объект все еще существует), и что много компонентов соответствующих образов оценены с различными степенями точности и что много элементов стоимости варьируются со временем, будет очевидно, что с практической точки зрения полноценность такого бесцельного шатания сомнительна, особенно если мы имеем всю жизнь объекта в виду.

Теория эксплуатации также существовала в течение почти сорока лет. Это - область (дисциплина) науки с ее собственной четко определенной номенклатурой, решительной интересующей областью, проверил

математические методы, и законы и принципы. Во многих областях теории эксплуатации, оказалось, была очень полезна и с теоретических и практических точек зрения. Стоит отметить, что в теории эксплуатации мы не интересуемся максимумом определенной функции, описывающей определенную собственность объекта во время всей жизни объекта; мы интересуемся 'увеличением', которое 'идет к максимуму'. Это более практично и легче достигнуть 2 теории эксплуатации, имеет положительное влияние таким образом.

Прежде чем мы начнем наши соображения, один дополнительный пункт нуждается в объяснении. Это - отношение между условиями 'элемент оборудования' и 'машина'.

Это, которое издательские договоры со свойствами технических объектов применили в горной промышленности и математических моделях, которые описывают их действие. Все эти объекты - элементы оборудования или — использование различного термина — устройства. Важная категория устройств - машины. Поэтому все машины - элементы оборудования, но есть некоторые элементы оборудования, которые не являются машинами. Машина обычно состоит из определенного числа механизмов, расположенных в общем теле, и их задача - передача некоторого движения и сил, чтобы выполнить некоторый тип работы. Поэтому линии сопротивления, наматывающие машины, колесные автопогрузчики и комбайны - машины, но приведенные в действие поддержки, конвейеры пояса и спускоподъемные установки - типы устройств, но не машин.

² Примечание по проблеме со взаимоотношениями между теротехнология и теорией эксплуатации обозначено в статье Чаплицкий 2008с.

ГЛАВА 2

Теория эксплуатации

2.1 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Общая цель деятельности человека состоит в том, чтобы внести изменения в окружающей действительности таким способом, которым это будет более удобно для людей. Это изменение должно быть сделано оптимально — если возможный — и одна из его целей должен удовлетворить потребности человека. Чтобы достигнуть этой цели, люди развивают процессы, используя их знание и используя соответственно отобранный и построили технические объекты. У общего требования в проектировании этих объектов должно быть некоторое знание целевого процесса — процесс, который будет произведен, используя построенный объект. Но это недостаточно. Для хорошего и надлежащего дизайна объекта (и, далее, чтобы достигнуть решительной цели), необходимо иметь некоторое знание изменений в свойствах объекта, который будет наблюдаться во время реализации этого целевого процесса. Это знание необходимо, чтобы достигнуть цели. Если таким процессом не будут управлять, он приведет к дезорганизации объекта согласно второму закону термодинамики. В действительности вероятно, что цель не будет достигнута или не будет полностью достигнута. Таким образом узнавание регулярности, которая управляет ходом процесса, является жизненной проблемой с точки зрения деятельности человека.

Область науки, которая исследует процесс изменений в свойствах объекта во время его жизни, называют теорией эксплуатации во многих странах (см., например, Пясецки 1973, Камирзак 2000).

Главная цель этой теории - определение таких действий, которые позволяют объекту быть сохраненным в состоянии, которое гарантирует самый удобный ход целевого процесса. Поэтому основной момент интереса к теории - рациональное расположение системы действия объекта и оптимального управления над процессом эксплуатации.

Теория эксплуатации имеет дело с, или попытки найти ответы на, следующие вопросы:

- Из чего состоит процесс эксплуатации? Как возможно определить свои компоненты?
- Какое влияние среда объекта имеет на ход своего процесса эксплуатации?
- Каковы технические и экономические возможности для изменения хода процесса к тому, который более удобен для его реализации?
- Какие изменения будут самыми прибыльными?
- Какие модификации в строительстве объекта или структуры системы нужно нести, чтобы улучшить ее работу?
- Как может производство объекта быть улучшенным на основе информации о действии объекта?

– Как должен ход процесса быть устроенным, чтобы гарантировать соответствующий уровень эксплуатационной безопасности?

Изменения свойств в объекте зависят от: особенности объекта получены во время его проектирования и производства эксплуатационные условия — среда объекта во время его действия методы использования объекта и обслуживания применились.

Обычно у каждого технического объекта есть три фазы в его жизни 1, которая Это: стадия проектирования производственная стадия стадия эксплуатации/операции.

Отправная точка для создания объекта является потребностью, необходимость 2 Где-нибудь в сфере деятельности человека, призыв к конкретному пункту происходит — призыв к новой статье, которая будет в состоянии выполнить определенные требования. Другими словами, есть требование, чтобы создать объект, который достигает этих потребностей. Часто, ответ на это требование - решение сделать объект. В данный момент первая фаза существования объекта начинается.

Во время этой первой стадии объект не существует физически. Это возникает через серию понятий, идей, рисунков, проектов и вычислений. В конце этого периода полная техническая документация готова, обычно в цифровой форме. Важный момент - то, что проектировщики дали объекту его виртуальные свойства.

Когда эта документация достигает рук производителей и производственных запусков, вторая фаза жизни объекта начинается. Объект возникает физически. Во время этой стадии объект получает реальные физические свойства — его характерные особенности — которые обычно немного отличаются от описанных проектировщиками. В конце производства объект существует физически. Это может поступить в продажу. Машины, такие как грузовики, колесные автопогрузчики, бульдозеры и скрепки, являются примерами этих объектов. В горной промышленности некоторые объекты так огромны, что они не массового производства. Клиент делает заказ, и желаемые машинные части произведены и поставлены местоположению, где целая единица установлена. Иногда этот процесс закончен в неделях; иногда требуется несколько лет. Огромные роторные экскаваторы, гигантские порталные конвейеры и экскаваторы цепи ведра - примеры объектов, построенных таким образом.

Когда покупатель 'берет' владение объектом, оно поставлено месту, где объект начнет выполнять свои обязанности и выполнять сформулированную задачу. Когда покупатель начинает использование, третья стадия жизни объекта начинается — эксплуатация объекта. Во время использования объекта и его обслуживания, его имущественного изменения. Поскольку объект выполняет свои обязанности, некоторые изменения в его свойствах могут быть положительными (например, когда управление некоторыми частями и/или собраниями сотрудничает лучше), но обычно изменения отрицательны. Объект начинает ухудшаться, некоторые части становятся потертыми и сбой, и неудачи происходят. Обслуживание необходимо или, по крайней мере,

некоторые регуляторы. Обычно процесс эксплуатации/операции объекта - процесс переплетения использования и обслуживания. Стоит отметить, что есть некоторые добывающие объекты, которые не могут сохраняться или восстанавливаться — их свойства не могут даже быть приспособлены. Обычно фаза эксплуатации закончена, когда физическая или экономическая смерть объекта происходит. К счастью, эта смерть не означает катастрофическую неудачу, как правило.

Сегодня большинство технических объектов хорошо разработано так, чтобы они выполнили требования своих владельцев. Во время обеих начальных стадий — проектирование и производство — есть много возможностей улучшить будущие успехи объекта, чтобы сделать более способным выполнить обязанности. В дополнении окружающая среда, в которой работает объект, может иметь сильное влияние на ход процесса эксплуатации. Обычно среда объекта - все, что не принадлежит объекту, но имеет определенное влияние на объект. Объект и его среда находятся во взаимоотношениях. У бронированного конвейера полета, работающего в забое, будут различные ценности для его параметров надежности, чем те из того же конвейера, действующего в качестве тормозящего элемента, где смещение минерала сделано под крутым углом склонности, далекой от рабочего лица. Средняя длительность главной веревки подъема, работающего в сухой шахте, очень вероятно будет более долгой, чем та из идентичной веревки с той же интенсивностью использования, работающего во влажной восходящей шахте.

1 По словам некоторых исследователей у жизни объекта есть больше фаз. Они расценили бы хранение и строительство объекта от собраний в месте, где это будет использоваться как отдельные фазы. Однако нет никакой потребности ввести такие фазы в наши экспертизы.

2 Потребность - примитивное используемое понятие, например, в экономике. Можно найти определение этого термина в психологии.

Отобранный метод использования объекта может также иметь значительное влияние на надёжность и работу объекта. Глава 7.3 сосредоточится на методах использования и обслуживания пары элементов. Важность выбора надлежащего метода обслуживания (ремонтные работы, превентивные меры, и т.д.) в горной промышленности легка понять, когда каждый вспоминает, что до 1960-х приблизительно 80% машинных отказов приводили к производственным забастовкам. После захватывающих успехов в теории надежности и практике, к 1980-м приблизительно 80% потенциальных машинных отказов были очищены быстро, не нарушая производство — таким образом, создание реальных увеличений добычи руды и решительно сокращения производственного времени проиграло из-за ремонтных работ.

Расследование свойств процесса эксплуатации объекта иногда касается свойств, которые могут быть немедленно определены относительно measure3 — достаточно наблюдать признаки, происходящие во время процесса. Однако есть много различных свойств, которые могут быть определены и которому меры могут быть приписаны, обрабатывая соответствующие данные

относительно объекта и его процесса. Иногда моделирование очень полезно здесь, потому что работа с моделью позволяет интересным мерам процесса быть построенными. Поэтому стоит вспомнить определение процесса эксплуатации, сформулированного Камирзак $\dot{z}$ (2000, p. 156) здесь: процесс эксплуатации объекта - все, что происходит с объектом с момента конца его производства до момента его заключительного отказа из использования.

Есть два основных условия теории эксплуатации, связанной с термином 'эксплуатация процесса'.

Это состояние объекта и события эксплуатации.

Во время процесса эксплуатации объекта, который является во время процесса использования и обслуживания объекта, свойств изменения объекта. Для некоторых особенностей эти изменения будут непрерывны, иногда замедляться, иногда переходный, и иногда решительный. Поэтому объект в данный момент вовремя не идентичен объекту в различный момент с точки зрения его свойств. Чтобы описать процесс этих изменений, термин состояние применен.

Определяя ряд существенных свойств объекта $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{C} \square \square \square \square \{c_1, \square c_2, \dots, \square c_m\}$, мы можем сказать, что состояние объекта во время t определено определенной функцией:

$$\mathfrak{C}(t) \square f [(t)] \quad \mathfrak{C} \square f [c_1(t), c_2(t), \dots, c_m(t)]$$

Камирзак (2000, p. 119), дает подобную оценку термина 'состояние': в термин состояние объекта мы собираемся понять здесь 'фотографию' ценностей свойств объекта в данный момент вовремя.

В практическом применении эта функция не считается непрерывным. Дискретизация регулярно делается, и дискретные состояния называют. Эти имена обычно связываются с физической природой состояния, такого как состояние ремонта, состояние работы, состояние бездействия и так далее. Заметьте, что простое заключение может быть сделано здесь: процесс эксплуатации объекта может быть понят как последовательность состояния этого объекта или — обычной формулировки — как процесс изменений состояний.

В результате этой дискретизации в каждый момент, когда изменение состояния происходит, произошло событие эксплуатации. Иногда эти события видимы и в некоторой степени заметны, например, определенный элемент объекта терпит неудачу, и машина прекращает операцию. Иногда события определены соглашением или графиком — ничего физически не происходит кроме того, что определенный параметр объекта превышает свою принятую ограниченную стоимость, такую как тормозная накладка носитя чрезмерно. В данный момент предполагается, что объект находится в различном состоянии.

В конце этого краткого обсуждения относительно основных принципов теории эксплуатации немного краткой общей информации должно быть дано на методах исследования технических объектов.

Научные исследования могут быть разделены на: теоретические экспертизы эмпирические экспертизы.

'Мера' в смысле теории меры (см., например, Фремли 2000).

Как правило, теоретические экспертизы отделены в: аналитическое исследование статистические эксперименты.

Однако моделирование почти всегда принимает во внимание данные, собранные во время полевых исследований.

Эмпирические экспертизы часто делятся на две категории, принимающие во внимание путь, которым они поняты, а именно: полевое исследование стойте или исследования лаборатории.

Статистические эксперименты не будут рассматриваться здесь по двум главным причинам. Во-первых, хотя моделирование эффективное до известной степени для данного существующего случая, у него действительно есть некоторые ограничения. Если некоторое обобщение сделано на основе результатов моделирования относительно различных случаев, сформулированные заключения нужно рассматривать очень тщательно. Каждый статистический эксперимент основан на некоторых коротких путях и упрощениях. Некоторые стохастические явления неизвестны и/или не приняты во внимание. Каждый результат получен с некоторой точностью и с некоторой ошибкой, которая не может быть измерена. Все эти факторы означают, что лучше рассматривать обобщения из статистических экспериментов как намек не как громкое заявление. Тем не менее, моделирование - уникальный метод, который работает, и оно допускает анализ систем, которые не предлагают другие методы. Это быстро и дешево.

Во-вторых, библиотека программ моделирования, примененных в горной промышленности, на самом деле довольно богата; у этих программ есть своя собственная литература, которая также очень богата. Поэтому не имеет никакого смысла повторять его.

Модели и описания горной промышленности объектов, представленных здесь, аналитичны по своей природе и основаны на результатах исследований эксплуатации (в области), исследований лаборатории и чистого теоретического исследования на основе информации от добывающей практики. Кроме того, Глава 3 касается диагностики; та часть диагностики, которая редко покрывается профессиональной литературой — статистическая диагностика. Поскольку область исследования этой книги касается эксплуатации технических объектов, диагностику, связанную с этим предметом, можно назвать диагностикой эксплуатации. Это, в свою очередь, может быть разделено на техническую диагностику и статистическую диагностику. Техническая диагностика, которые развивались быстро за прошлые тридцать лет, хорошо иллюстрирована во многих профессиональных публикациях. Статистическая диагностика осталась неизведанной и довольно непопулярна.

2.2 ТЕОРИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ — ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫБОРЫ

Горная промышленность - специфическая деятельность. Нет никакой другой технической области, которая применяет так многих и такое множество машин и других элементов оборудования. Эти машины организованы в системы; редко делает одну только машинную работу. Это разнообразие создает огромную проблему для горных инженеров, которые используют это оборудование на практике и большой вызов исследователям, пытающимся описать операцию систем аналитически. Это - причина, что диапазон математических используемых моделей особенно богат (очевидно, в зависимости от случая, который расследуется).

Модели, имеющие дело с объектом, работающим до его первого возникновения неудачи, нашли применение, вместе с моделями, исследующими объекты, которые могут быть восстановлены. Вследствие того, что большинство машин, работающих в работе шахт в системах, занятость моделей для систем различной природы нашла широкое применение в добывающем техническом мире.

В теории мои системы оборудования четыре определенных типа отличает их метод функционирования (Чаплицкий 2004b). Это: непрерывные системы (системы непрерывных технологических структур) 4 циклические системы 4 системы описания непрерывных технологических структур был, вероятно, сформулирован впервые Сажкиевич в начале 1970-х в связи с анализом систем конвейера пояса в поверхностной горной промышленности.

Системы готовности

Смешанные системы.

Теория и аналитическое описание непрерывных систем были разработаны, главным образом, в 1960-х и 1970-х и включают и формальные модели и модели моделирования. Они были успешно проверены практикой в шахтах, и можно сказать, что добывающий мир обладает широким спектром подтвержденных математических инструментов, чтобы описать и проанализировать системы этого типа. Дальнейший прогресс этой области может наблюдаться в разработке новых расширенных методов моделирования.

В английском мире разработки горной промышленности программы моделирования хорошо разработаны и известны. Аналитические модели, в свою очередь, не так популярны, и по этой причине их очень удобные характерные особенности часто пропускаются. Поэтому эти аналитические модели будут представлены в этой книге.

Теория и аналитическое описание мои циклические системы могут быть разделены на четыре типа: операция спускоподъемных установок операция железнодорожных систем операция погрузки машинных систем — буксирующие единицы операция систем, вовлеченных в горное извлечение, взрываясь.

Эти системы смоделированы, проанализированы и вычислены по-разному. Каждому нужны совершенно другие математические инструменты, чтобы

описать его действие, однако общие принципы теории надежности и теории эксплуатации применены во всех исследованиях. Две системы будут обсуждены в этой книге, системе подъема и системе для погрузки машин — откатчики. Классическая система — вовлечение грузовика совка — является отдельной обширной проблемой и моделированием, анализ и вычисление этой системы были представлены в монографии Чаплицкий 2009. Применение теории очереди, которая применена в анализе некоторых циклических систем для исследования конкретных проблем горной промышленности, представлено в Главе 8.

Разработка теории и аналитического описания систем готовности сильно связана с военными проблемами. Большинство военных систем - просто готовности, который является системами с главной целью ожидания и готовности к действию. Все спасательные системы — пожарные команды, полиция, медицинские экстренные службы, и т.д. — являются примерами систем готовности. В горной промышленности спасательные системы на месте, чтобы освободить подземных шахтеров, пойманных в ловушку обрушением крыши, чрезвычайно важны. Обычно математические модели относились к этим системам, хорошо развиты и были подтверждены на практике. Основной момент соображения для этих систем - достижение соответствующих ценностей для системных параметров. Это - двумерная проблема. Системы готовности обычно - системы людей и соответствующего оборудования. Если люди хорошо обучены в применении их инструментов в действии, система достигает подходящих ценностей для своих параметров. С другой стороны, проблема может быть создана с точки зрения правильной оценки этих параметров. Эти системы - специфические, и с ними не будут иметь дело в этой книге.

В горной промышленности некоторых систем имеют смешанную природу с, например, одна часть системы, являющейся непрерывным, другая циклическая часть. Три примера этого типа системы будут приняты во внимание: система грузовика совка с сокрушительной единицей в яме и конвейерами система грузовика совка с наклоненным подъемом

Поток извлеченной скалы — мусорного ведра шахты — подъем.

Обсуждения этих тем начнутся с представления некоторых примеров формальных описаний процессов эксплуатации для отобранных машин. Это позволит читателям знакомиться с принципами, вовлеченными в составление моделей процессов эксплуатации машин. Первое, и самое важное, пункт - цель такого строительства, и модель должна разрешить идентификацию некоторой регулярности, бегущей во время эксплуатации объекта и, далее, оценка эффективности объекта как функция параметров объекта.

Еще два фундаментальных термина теории эксплуатации будут определены в отношении первого тематического исследования (см. главу 4.1), касающегося исследования эксплуатации подземного подвесного локомотива, используемого сегодня в угольных шахтах во многих странах.

Эти условия - репертуар эксплуатации и граф эксплуатации. Лучше определить эти выражения, давая практические примеры, потому что тогда их значение немедленно хорошо понято.

Однако прежде, чем обсудить практические примеры, одна специальная тема достойна рассмотрения — статистическая диагностика. Это не очень популярно, особенно где горная промышленность практики затронута. Однако это, кажется, очень полезно и иногда предоставляет удивительно важную информацию о свойствах процесса эксплуатации под следствием. Кроме того, значительно, статистическая диагностика позволяет большой существенной информации быть полученной, который должен быть под рукой, прежде чем описание и моделирование процесса эксплуатации могут быть поняты.⁵

⁵ В недавней публикации Кордера и Формана (2009) содержится полезная информация по статистическому анализу для горных инженеров.

ГЛАВА 3

Статистическая диагностика

В течение сотен лет термин 'диагностика' был связан исключительно с медициной, поскольку это - область, касающаяся методов идентификации болезней на основе наблюдаемых признаков. Этот термин получен на основании греческого *диагноза* слова, что означает признание, тогда как *diagnosticós* представляет способность признать. Во второй половине двадцатого века техническая диагностика начала развиваться на основе той же идеи — чтобы признать состояние технического объекта посредством объективных методов и посредством отслеживания признаков, связанных с эксплуатацией объекта (Cholewa и Kocielny śв Korbicz и др. 2004). Более точно диагностика оценивает состояние объекта, исследуя свойства эксплуатационного процесса объекта вместе с процессами, связанными с ним и/или изучая продукты объекта если таковые имеются.

В регулярной технической диагностике основная проблема: *какие* признаки, как должны наблюдать, получают информацию о состоянии объекта? Это вовлекает к второй проблеме: как эти признаки могут быть обнаружены? Обычно, специальный диагностический аппарат необходим, включая очень сложные, точные процедуры и хорошо обученный персонал, чтобы применить диагностические инструменты и прочитать зарегистрированные данные. Аналогичная ситуация найдена в статистической диагностике; основное различие - то, что данные, собранные в статистической диагностике, обычно являются последовательностями времен состояния объекта и, как правило, никакая определенная инструментовка не требуется. Диагностические устройства здесь - математические инструменты. Человек, делающий эти статистические расследования, должен обладать соответствующим знанием, чтобы провести исследование, а также правильно 'прочитать' результаты статистических применяемых инструментов. Пункт соображения здесь - то, как работать с данными, собранными во время расследований эксплуатации объекта. Проблемы, связанные с подготовкой, организацией и анализом этих расследований, не рассмотрят здесь. Эти проблемы описаны хорошо в литературе надежности, а также в литературе, связанной с математической статистикой. Учет того факта, что литература надежности довольно богата этой областью (см., например, Гньеденко 1969, Мелчерс 1999, О'Коннор 2005, Смит 2007), внимание будет заплачено здесь за первую стадию исследования, немедленно после коллекции данных. Это касается тестирования собранной информации.

Есть большая информация в собранных данных, которые не 'видимы' на первый взгляд. Необходимо применить соответствующие математические инструменты, которые позволяют многим ключевым вопросам быть ответченными и которые указывают на то, что должно быть учтено. Иногда эти

вопросы связаны с тем, какие решения должны быть приняты в связи с дальнейшим использованием объекта, и иногда они касаются обслуживания. Эти инструменты могут быть найдены в математической статистике.

В основном много информации может быть получено из формы наблюдаемых последовательностей времен состояния. Эти последовательности должны быть проверены на:

- хаотичность
- возможные выбросы
- стационарность времен состояния в смысле средств
- стационарность времен состояния в смысле различия
- отсутствие или существование циклического компонента в процессе
- автокорреляция в процессе
- однородность данных
- взаимная независимость случайных переменных
- взаимная зависимость случайных переменных.

Мы обсудим эти моменты в последовательности и поддержим наши соображения с примерами, взятыми от добывающей практики. Однако, прежде чем перейдем к этому, одному термину нужно объяснение. Это - *вероятность*. Это выражение будет часто использоваться в течение наших соображений.

Нет сомнения, что вероятность - одно из кардинальных условий в нескольких теориях, включая теорию вероятности, теорию надежности, математическую статистику и теорию эксплуатации. (Другие теории могли быть перечислены здесь, но это не пункт нашего интереса.), Если мы исследуем большинство книг, имеющих дело с надёжностью, теротехнология, математической статистикой или теорией эксплуатации технических объектов (см., например, Гньеденко и др. 1965, Рьябинин 1976, Мигдальский 1982, Лесоруб 1957, Мелчерс 1999, Смит 2007, О'Коннор 2005, Bhandury и Basu 2003, Келлер и др. 1987, Джонсон 1984, Cramér 1999, Камирзак 2000), нет никакого определения вероятности. Все эти книжные данные исследования, которые касаются вероятности, но нет никакого четкого заявления точно, что означает термин. В некоторых из этих книг дана определенная идея, таким образом, у читателей может быть некоторое интуитивное чувство того, о чем это - все. Но все эти объемы строго научные, поэтому должно быть четкое объяснение вероятности. В Википедии 2009 там некоторые неправильные и неточные заявления об этой теме. Давайте начнем ясно давать понять ситуацию.

До начала двадцатого века так называемый подход *frequentive* был очень популярен и использовался почти исключительно. В этом подходе вероятность случайного события обозначает *относительную частоту возникновения* результата эксперимента, когда эксперимент повторен. 'Frequentists' рассматривал вероятность как относительную частоту результатов 'в конечном счете'. Теоретически, вероятность - отношение между количеством благоприятных результатов к количеству всех возможных событий, при условии, что у результатов есть тот же шанс появления (например, у всех лиц умирающих есть идентичная возможность появления). Заметьте, что это

определение не имеет никакого смысла, когда набор результатов бесконечен. Кроме того, в конце определения заявление тот же шанс происходящих означает на самом деле *ту же* вероятность появления, которое немедленно уравнивает это определение. Эта ситуация существовала до 1933, когда работа Кольмогорова была издана. Его подход к теории вероятности полностью отличался: *‘эта теория может и должна быть разработана из аксиом точно таким же образом как геометрия и алгебра’*. Он представил набор, который создал основание для современной теории вероятности. Его оригинальный подход к вероятности был следующие:

‘Позвольте $\mathcal{E}$ быть коллекцией элементов, из которых мы назовем элементарные события и $\mathcal{A}$ ряд подмножеств $\mathcal{E}$; элементы набора $\mathcal{A}$ назовут случайными событиями.

Аксиомы:

$\mathcal{E}$ область наборов.

II. $\mathcal{A}$ содержит набор $\mathcal{E}$.

• К каждому набору A в неотрицательном действительном числе P назначен (A) . Это число называют вероятностью события A .

IV. $P(\mathcal{E}) = 1$.

V. Если у A и B не есть общий элемент, то $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$.

В этом наборе аксиом только конечное количество событий были приняты во внимание. Однако в той же публикации, Кольмогоров расширил рассуждение на бесконечное число событий.

На основе теории наборов можно легко прийти к заключению, что событие $\mathcal{E}$ - достоверное событие и $P(\Phi) = 0$, если Φ обозначает невозможное событие.

Возобновление:

Вероятность - **неотрицательное действительное число**, поддержанное в $[0, 1]$ интервал.

Некоторые математики (Копоцинский 1973, например) имеют мнение, что вероятность - **функция**, в которой аргументы - случайные события, и ценности - действительные числа, и эта функция выполняет вышеупомянутые аксиомы. Для фиксированного события функция вероятности - число. Этот подход теперь в более общем плане принят, чем оригинальный Кольмогорова.

3.1 ХАОТИЧНОСТЬ ОБРАЗЦА

Когда образец взят, это в форме последовательности чисел, и этой информацией будет пункт всестороннего анализа. Необходимо быть уверенным, что эта последовательность чисел случайна. Основное предположение, которое сформулировано в математической статистике, состоит в том, что, когда определенное население - интересное место относительно указанной особенности, мы должны собрать репрезентативную пробу (обычно небольшая часть этого населения), чтобы оценить особенность. Прогнорируйте проблему того, почему мы только собираем данные от

определенной части населения, поскольку это, как правило, объясняется всесторонним способом в статистической литературе. Давайте сосредоточим наше внимание на том, что мы хотели бы быть уверенными, что взятый образец является *хорошим* представлением целого населения. Давным-давно было указано, что образец - *хорошее* представление, если этот образец *случаен*.

Мы оставляем здесь определение хаотичности. Расследования в этом отношении могут быть найдены во многих математических книгах по статистике и некоторых других публикациях, не непосредственно связанных со статистикой (таких как Вольфрам 2002 р. 1067). Мы приближаемся к этой проблеме с технической точки зрения — образец взят, и мы хотели бы быть убежденными, что у этого есть собственность хаотичности. Чтобы решить такую проблему, инструменты, предлагаемые теорией проверки статистических гипотез, очень полезны. Здесь несколько тестов популярны, но наиболее часто используемые тесты на основе ряда, такие как тест Стивенса. Мы принимаем во внимание, что эти тесты используют медиану случайного проверенного variable1.

Вспомните, медиана - параметр случайной переменной и именно такой стоимости вероятность, что случайная переменная стоимость будет больше, чем медиана равняется вероятности, что случайная переменная стоимость будет меньше, чем медиана, и эта вероятность, очевидно, $\frac{1}{2}$. Когда образец дан в форме последовательности чисел, которые происходят один за другим, необходимо заказать этот образец монотонно. Среднее число - оценка неизвестной медианы населения. Это верно, если у последовательности есть нечетное число ценностей. Для четного числа ценностей есть два средних числа, и мы берем среднее арифметическое этих двух ценностей как оценка неизвестной медианы населения 2

3.1.1 Процедура проверки

Собранный образец сортирован монотонно, и медиана найдена или вычислена. Тогда оригинальный образец преобразован в последовательность знаков + и – приписывающий каждому элементу образца знак. Знак + обозначает элемент, который больше, чем медиана, знак – обозначает элемент, который меньше, чем медиана. Отклонены ценности переменной, равной медиане. Тогда номер s ряда (знаки одночлена) вычислен. Это число - ценность статистической величины, используемой в тесте. Мы также вычисляем номер n + знаки и n – знаки.

Проверенная гипотеза H_0 объявляет, что элементы образца были отобраны случайным способом, тогда как альтернативная гипотеза H_1 отрицает H_0 . Уровень значения α отобран, и таблица 3 с критическими значениями ряда используются, чтобы найти пределы.

Напомним, случайная переменная X является функцией, у которой есть область $\mathbb{R}$ и ценности, взятые от реальной оси, и эта функция выполняет два условия: - набор $\{X \leq x\}$ является событием для любого действительного числа x - вероятность событий $\{X \leq x\}$ и $\{X \leq -x\}$ равняется нулю.

- Для образцов, данных в различных формах, оценщики для вычисления медианы отличаются (см., например, Хогга и Крэйга 1995 или Джовиэк и Подгврский 1997).

- Есть много публикаций — книги, монографии, листовки статистической природы и природы надежности — со статистическими таблицами (см., например, Линдли и Скотта 1995, Рольф и Сокал 1981, Гньеденко и др. 1965, Шор и Кузмин 1968, Фиркович 1970, Зиелинский 1973, Келлер и др. 1987, Малиский 2004). Будет предполагаться всюду по этой книге, что соответствующая статистическая таблица используется, чтобы потребовать собственного значения для данного теста, игнорирующего, от которого устанавливает его, был взят.

Там два: минимальное количество ряда — левая сторона критического региона для $\alpha/2$; и максимальное количество ряда — правая сторона критического региона для $1-\alpha/2$. Если номер s падает между этими двумя критическими значениями, у нас нет земли, чтобы отклонить нулевую гипотезу. Иначе гипотеза H_1 — истинная. Это означает, что отклонение основной гипотезы — следствие того, что или есть слишком много рядов в образце или слишком мало рядов. Давайте рассмотрим пример.

Пример 3.1

Машина LHD, работающая в подземной шахте медной руды, наблюдалась, и были отмечены последующие времена ремонта. Следующая последовательность была зарегистрирована:

0.9; 1.2; 2.4; 3.8; 1.8; 5.2; 1.6; 2.2; 2.9; 4.3; 0.4; 6.7; 1.7; 3.1; 0.6; 0.2 ч.

Проверьте гипотезу, что наблюдаемая последовательность случайна.



Вычислите медиану для образца. Устраивая последовательность монотонно мы имеем: 0.2; 0.4; 0.6; 0.9; 1.2; 1.6; 1.7; 1.8; 2.2; 2.4; 2.9; 3.1; 3.8; 4.3; 5.2; 6.7

Поскольку у образца есть четное число элементов, мы выбираем два средних числа и вычисляем среднее арифметическое:

$$\frac{1.8 + 2.2}{2} = 2.0$$

Эта стоимость — медиана образца.

Преобразуйте оригинальный образец в последовательность знаков. Мы имеем: 0.9; 1.2; 2.4; 3.8; 1.8; 5.2; 1.6; 2.2; 2.9; 4.3; 0.4; 6.7; 1.7; 3.1; 0.6; 0.2

И: - - + + - + - + + + - + - -

Количество ряда $s = 11$, количество знаков $n_+ = 8$, $n_- = 8$. Предполагая уровень $\alpha = 0.05$ и используя столы для критических значений мы имеем:

- $= 0.025$ минимальное число, если ряд: 4
- $= 0.975$ максимальное количество, если ряд: 13.

Эмпирическое количество ряда $s = 11$ падений между этими критическими значениями, таким образом у нас нет земли, чтобы отклонить гипотезу H_0 — у образца есть собственность хаотичности. ◀ ⁴ наиболее распространенный уровень значения, предполагаемого инженерами, 0.05.

Обычно столы критических значений для ряда включают случаи до 20 знаков и таким образом, проблема возникает того, что сделать, когда объем выборки больше, чем 20. Это - известное то, что последовательное распределение числа может быть удовлетворительно описано нормальным распределением $N(m, \sigma)$ параметров:

$$m = \frac{2n_+ n_-}{n_+ + n_-} + 1$$

и

$$\sigma = \frac{\sqrt{2n_+ n_- (2n_+ n_- - n_+ - n_-)}}{(n_+ + n_-) 2 - (n_+ + n_- - 1)}$$

3.1.2 Результат расследования хаотичности

Открытие, что данный образец не случаен, часто не происходит. Однако это должно быть четко дано понять, что, если данный образец не случаен, мы не можем сделать дальнейший статистический вывод кроме проследить, почему эта ситуация произошла.

Есть много причин такого положения дел. Одна возможность - существование циклического компонента в процессе эксплуатации исследуемого объекта (см. Главу 3.5). Другая возможность состоит в том, что во время ремонта объекта определенное собрание было заменено собранием от различной машины, и интенсивность неудач проверяемого элемента оборудования значительно изменилась. В некоторых случаях 'модификация' отремонтированной машины может быть еще больше. Все эти 'неправильные' события могут произвести нехаотичность.

Для исследователя, расследующего данный процесс эксплуатации, это - четкий сигнал, что что-то нетипичное произошло и нахождение, что источник этого явления любой ценой рекомендуется.

3.2 АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ

Когда образец взят иногда есть один результат, чрезвычайно редко два, который не соответствует к образцу на первый взгляд вследствие того, что наблюдаемая величина очевидно отличается от других. У результата или есть очень высокая или очень низкая стоимость по сравнению с другими данными. В математической статистике такой результат называют *изолированной частью*. Немедленно вопрос подходит относительно того, принадлежит ли это число образцу в статистическом смысле или было ли это помещено в данные из-за неправильного решения или неправильной записи. Пренебрегая проблемой, что авторы дали различные определения изолированной части (см., например, Зелию 1996, Мур и Маккейб 1999, Чекала 2004, www.mathwords.com/o/outlier.htm 2008), стоит отметить, что у математической статистики есть множество тестов, позволяющих гипотезу, указывая, что такой результат принадлежит данному образцу, который будет проверен. Литература от этой области богата (cf. Баррет и Льюис 1994), и конкретные проблемы нетипичного наблюдения рассматривали в течение многих лет многие авторы (см., например, Фишера 1929, Гньеденко и др. 1965, Чаплицкий 2006b).

В добывающей практике в этой области должна быть принята во внимание одна важная проблема. В техническом мире в целом, и особенно в горной промышленности, есть большой класс технических объектов, которые могут быть опустошены во время их действия. Это означает, что неудача может произойти, который может разрушить объект полностью или повредить его очень серьезно. Среда объекта может также быть опустошена и угроза жизни, и здоровье персонала должно быть отмечено также. Например, сверххрана перевозки подъема вне ее ограниченного уровня могла поразить лучи давки, или разрыв мог произойти в веревке головы подъема. Этот тип неудачи называют катастрофическим, и этот тип события - уникальный. Его возникновение очень редко, к счастью. Интенсивность неудач этого типа полностью отличающийся от других регулярных неудач объекта. Кроме того, время разрешения неудачи значительно более длительно. Это означает, что эти два типа событий эксплуатации не могут быть собраны в анализе параметра. Значения интенсивности неудач и времена ремонта (если ремонт возможен) полностью отличаются, но они не выбросы в статистическом смысле относительно соответствующих ценностей, отмеченных в регулярной эксплуатации объекта.

Возвращаясь к главной теме этого раздела, нужно указать, что анализ данных с изолированной частью (или выбросами) собранный из эксплуатации

объекта более сложен, когда нет никакого признака в отчетах относительно того, почему изолированная часть появилась.

Рассмотрите следующую статистическую схему.

Предположите, что есть образец, собранный от элементов двух различного населения. Переменные, связанные с этим населением, значительно отличаются друг от друга в отношении средней стоимости. Кроме того, одно население очень многочисленно относительно второго. В такой ситуации мы имеем право ожидать, что в образце, взятом, число может произойти, который значительно отличается от других элементов образца. Возникновение такого пункта позволяет гипотезу, указывая неоднородность относительно особенности, которая является целью расследования, которое будет сформулировано. Чтобы формализовать его, можно записать его.

Есть данный образец:

$$\{X_1, X_2, \dots, X_k, \dots, X_N\}$$

Есть гипотеза, что k -th элемент образца нетипичен — изолированная часть. Предположите, что средняя ценность остальной части элементов:

$$E(X)_{i,j \neq k} = \omega_i = \omega$$

Сформулируйте нулевую гипотезу H_0 : $E(X_i) = \omega$, который указывает, что все элементы взяты от одного населения против гипотезы H_1 : $\omega_k \neq \omega \wedge \omega_i, i \neq k = \omega$, который указывает, что у k -th элемента есть существенно отличающаяся средняя стоимость.

Дальнейшая часть анализа зависит от вида информации, которая является под рукой. В добывающей практике два распределения вероятности наиболее часто применяются, а именно, показательное распределение и распределение Эрланга. (Гауссовское распределение также часто применяется, особенно когда времена цикла работы машин, работающих периодически, затрагиваются.)

3.2.1 Показательное распределение

Если λ обозначает аналог математического ожидания случайной переменной, по экспоненте распределенной, продукт $2\lambda \sum_{i=1, i \neq k}^N X_i$ имеет распределение вероятности χ^2 с $2(N-1)$ степени свободы. Это может традиционно быть отмечено как:

$$2\lambda \sum_{i=1, i \neq k}^N X_i : \chi^2(2(N-1)) \quad (3.1)$$

Обозначение:

$$\bar{X}_{N-1} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1, i \neq k}^N X_i \quad (3.2)$$

который является средним арифметическим, которое является оценщиком среднего значения случайной переменной на основе $(N - 1)$ образец элемента, можно записать:

$$2\lambda(N-1)\bar{X}_{n-1} : \chi^2(2(N-1)) \quad (3.3)$$

Рассмотрим соотношение:

$$\frac{2\lambda N \bar{X}_n}{2N} \div \frac{2\lambda(N-1)\bar{X}_{n-1}}{2(N-1)} \div F(2N, 2(N-1)) \quad (3.4)$$

Этот коэффициент имеет распределение Фишера-вероятностное распределение со степенями свободы $[2N, 2(N - 1)]$, где $\bar{X}_N$ является оценщиком среднего, включающего выброс. Упрощение можно получить:

$$\frac{\bar{X}_N}{\bar{X}_{N-1}} \div F(2N, 2(N-1)) \quad (3.5)$$

Гипотеза H_0 должна быть отклонена, если — для предполагаемого уровня значения α — фактор левой стороны этих отношений больше, чем квинтиль заказа α распределения F , который является

$$\frac{\bar{X}_N}{\bar{X}_{N-1}} > F_{\alpha}(2N, 2(N-1)) \quad (3.6)$$

Немного отличающийся подход для проверки планировщика был представлен в 1929 Фишером (проблема выбросов в те дни почти не существовала в формальном смысле). В его статье он представил тест на одновременную проверку гипотезы показательного распределения случайной переменной, проверенной вместе с существованием планировщика, значительно больше, чем остальная часть элементов в образце. Фишер предложил, чтобы следующую формулу рассмотрели:

$$\eta = \frac{X_k}{\sum_{i=1}^N X_i} \quad (3.7)$$

В процитированной газете критические значения для этой функции были даны, допуская проверку сформулированной гипотезы (см. также Гньеденко и др. 1965 или Гньеденко 1969).

Пример 3.2

Уголь перевозки конвейера пояса в подземной шахте был исследован. Интересное место было последовательностью рабочих времен между двумя соседними неудачами. Следующие данные были собраны [h]: 910, 170, 280, 790, 660, 1210, 510, 180, 6310, 140, 220, 440, 870, 380, 60, 1340.

Смотря на эту последовательность один элемент кажется странным: 6 310 ч.



Зная, что время работы обычных ленточных конвейеров почти всегда можно удовлетворительно описать⁵ экспоненциальным распределением, были рассчитаны два способа:

$$\bar{X}_{N-1} = 544h \quad \bar{X}_N = 904h$$

Первое среднее не принимает во внимание изолированную часть, второе делает. Различие между этими средними значениями значительное.

Вычислите отношение:

$$\frac{\bar{X}_N}{\bar{X}_{N-1}} = 1.66$$

Критическое значение, взятое от таблиц Распределение Фишера для степеней свободы для этого примера и предположения $\alpha = 0.05$:

$$F_{\alpha=0.05}(32, 30) = 1.82$$

Поскольку эмпирическая стоимость не превышает критический, нет никакого возражения на отклонение гипотезы — нет никакой земли, чтобы удалить изолированную часть из образца. Рассмотрите вышеупомянутую проблему при помощи процедуры Фишера. Применение формулы 3.7:

$$\eta = \frac{X_k}{\sum_{i=1}^N X_i} = \frac{6310}{14470} = 0.44$$

Критическое значение, взятое от соответствующего стола:

$$\eta = (a = 0.05; N = 16) = 0.33$$

Можно указать, что есть земля, чтобы отклонить гипотезу, потому что это показывает, что образец взят от населения, характеризуемого показательным распределением вероятности, и это - элемент, значительно больше, чем остальная часть элементов в образце.

Обе статистических процедуры дали идентичный результат.

3.2.2 Распределение Ерланг

Вышеупомянутые соображения могут легко быть расширены для случая, где ценности переменной, которая исследуется, могут быть описаны распределением вероятности Эрланг. Легко прийти к заключению, что у продукта $2\lambda \sum_{i=1, i \neq k}^N X_i$ есть здесь распределение χ^2 с $2k(N - 1)$ степени свободы. Используя аналогичное рассуждение можно добраться:

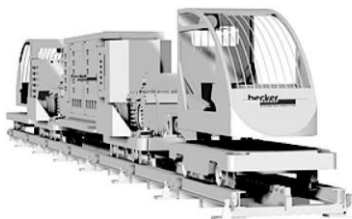
$$\frac{\bar{X}_N}{\bar{X}_{N-1}} > F_{\alpha}(2kN, 2k(N-1)) \quad (3.8)$$

Пример 3.3

Операция локомотива стойки-и-зубчатого-валика, используемого в подземной угольной шахте, была исследована.

Последовательность времен ремонта была отмечена, дав следующий образец:

⁵ Очень часто в этой книге фраза, 'удовлетворительно описанная', будет использоваться относительно распределения вероятности — это должно быть взято, чтобы означать 'удовлетворительно' в статистическом смысле.



90, 45, 180, 90, 65, 55, 280, 245, 190, 140, 90, 270, 40,
125, 180, 310, 60, 1850, 130, 60, 235, 70, 120, 80. [h]

Изолированная часть в этом образце - элемент номер 18, который составляет 1 850 минут. Не было никакого отчета того, что произошло и почему это время такое длинное.

Более раннее расследование надежности дало территорию, чтобы прийти к заключению, что распределение вероятности времен ремонта может быть удовлетворительно описано гамма распределением с параметром формы $k \cong 2$. Таким образом можно предположить, что распределение Эрланг может быть применено.

Два средних раза вычисленный на основе образца:

$$\bar{X}_N = 208.3 \text{ min} \quad \bar{X}_{N-1} = 137 \text{ min}$$

Отношение:

$$\frac{\bar{X}_N}{\bar{X}_{N-1}} = 1.52$$

Критическое значение - $F_{0.05}(96, 92) = 1.4$.

Эмпирическая стоимость больше, чем критическая. Есть территория, чтобы отклонить проверенную гипотезу, указывая однородность образца. Изолированная часть должна быть отклонена от дальнейшего анализа.

Дополнительные расследования показали, что вмещающие породы были перемещены, и локомотив под наблюдением сошел с рельсов. Несколько собраний локомотива были уничтожены, вызвав долгое время ремонта. Можно указать, что редкий случай был отмечен. ◀

3.2.3 Нормальное распределение

В добывающей практике у Гауссовского распределения вероятности также есть широкое применение. Верно, что много эмпирического распределения времен фаз работы машин могут быть описаны удовлетворительно нормальным распределением. Это применяется, например, к колесным автопогрузчикам, совкам власти, грузовикам и бурильщикам. У потока разрушенной породы, транспортируемой конвейерами пояса, есть Гауссовский характер. У распределения вероятности общей массы минерала, поставляемого

ежедневно шахте от подземного производственного уровня, есть нормальный характер. Распределения ошибок меры нормальны, как правило.

Случайная переменная, описанная Гауссовской функцией, определена по целой оси действительного числа, от $-\infty$ к $+\infty$. Для технической практики это не удобно. У физических величин есть свои собственные естественные пределы. Подход, который представлен теорией, может быть принят во внимание как модель края — идеальная. Левая сторона (ниже) естественный предел является очень часто нулем. Применение отрицательных величин, главным образом, касается груза, напряжения, замедления и динамический момент. (Верхний) предел правой стороны, в свою очередь, рассматривая способность, которую говорят мои средства транспортировки, чрезвычайно важен, если результаты вероятности соображений должны быть получены. Все они ясно указывают, что в технической практике, особенно в горной промышленности, нормальное распределение вероятности должно быть усеченным, обычно с обеих сторон. Если — несмотря на это — никакое усечение не применено, оценка совершенной ошибки должна быть сделана. Если ошибка, произведенная, применяя идеальную модель, небольшая, и может пренебрегит, эта модель может использоваться (с осторожностью) для дальнейшего анализа. Если ошибка значительная, результаты применения идеальной модели с точки зрения ее погрешности должны быть оценены.

Рассмотрите анализ однородности. Гипотеза, которая проверена, является заявлением, что все элементы образца взяты от одного населения несмотря на то, что один элемент значительно отличается от других. Чтобы проверить, верна ли гипотеза, эта формула может использоваться:

$$T_k = \frac{X_k - \bar{X}_{N-1}}{S_{N-1}} \sqrt{\frac{N}{N-1}} \quad (3.9)$$

Где:

$$S_{N-1} = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1, i \neq k}^N (X_i - \bar{X}_{N-1})^2} \quad (3.10)$$

оценщик стандартного отклонения переменной, наблюдаемой без изолированной части. Если проверенная гипотеза верна, у случайной переменной T_k есть *t-распределение* Студентом $N - 2$ степени свободы. Если альтернативная гипотеза H_1 верна, у случайной переменной T_k есть *t-распределение* нецентрального Студента. Проверенная гипотеза должна быть отклонена для предполагаемого уровня значения, если следующее неравенство держится:

$$T_k \geq t_{\alpha}(N - 2) \quad (3.11)$$

где $t_{\alpha}(N - 2)$ является квинтилью заказа α *t-распределения* Студента с $N - 2$ степени свободы.

Пример 3.4

В карьере были отмечены времена *чистой* погрузки (без маневрирования совка и грузовика). Эта последовательность была получена: 2.4, 1.8, 1.6, 1.9, 2.6, 2.2, 2.1, 2.0, 1.8, 2.0, 5.3, 2.3, 2.1, 2.5, 2.1, 2.7, 1.9, 1.7, 1.6, 2.4, 2.3, 2.2, 2.9, 2.0, 1.8, 1.9, 2.7, 1.6, 2.3 минута.

Изолированная часть - время 5,3 минут. Зная, что распределение вероятности времен погрузки нормально, среднее и стандартное отклонение были вычислены.

$$\bar{X}_{N-1} = 2.1 \text{ мин. и } S_{N-1} = 0.4 \text{ мин.}$$

и

$$T_k = 9.1$$

Предположите теперь, когда $\alpha = 0.02$. Критическое значение для этого уровня значения - $t_{\alpha}(N - 2) = 2.5$.

Заключение: изолированная часть в образце должна быть исключена из дальнейших соображений.



Между прочим, после дополнительного расследования причина изолированной части была найдена — совок загрузил большой валун.) ◀

Обычно присутствие изолированной части производит своего рода проблему. Если дальнейший анализ несут, и некоторые статистические меры оценены — или когда, например, выполняя подбор методом наименьших квадратов к данным — это часто - лучшее решение отказаться от изолированной части перед вычислением. Это должно быть сделано, даже когда соответствующий статистический тест не дает территории, чтобы отклонить гипотезу, что изолированная часть принадлежит данному образцу, характеризующему определенным распределением вероятности. Стоит отметить, что, если образец большой, отклонение одного элемента не вызывает большую потерю. Если однако образец маленький, ценность изолированной части имеет огромное влияние на ценности расчетных параметров; лучше отклонить его.

3.2.4 Результат анализа изолированной части

Это предоставляет недвусмысленную информацию, о которой участие собранных данных должно быть принято в дальнейшие расследования.

В случае, когда нетипичный элемент принадлежит образцу, это - примечательная информация, которую во время операции объекта иногда может иметь место такое событие.

3.3 СТАЦИОНАРНОЕ ИСПЫТАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Как правило, стационарность означает, что что-то фиксируется в неподвижном или неизменном состоянии или характере. Стационарность в связи с процессом эксплуатации технического объекта связан со способом понять процесс. Поэтому это - своего рода собственность вероятностного процесса.

Давайте пренебрежем тонкостью, связанной с различными видами Стационарность, который рассматривают в теории вероятностных процессов (см., например, Коваленко и др. 1983, Росс 1995). Вместо этого мы приблизимся к проблеме Стационарность с практической технической точки зрения.

Каждая последовательность времен данного состояния должна быть проверена, чтобы видеть ли увеличение наблюдений или уменьшение в среднем со временем. Поскольку параметр процесса - время, проверка касается Стационарность. Тем не менее, в технической практике есть некоторые операции, для которых самый важный параметр процесса не время. Для установки подъема шахты количество выполненных ветров намного более важно. Точно так же для транспорта шахты число тонн перемещенной массы важно. Для многих машин количество выполненных циклов работы важно. По этим причинам интересное место - определенная стохастическая собственность последовательности наблюдаемых ценностей. Однако, чтобы сделать дальнейшее соображение более коммуникативным, будет предполагаться, что параметр процесса - время.

Есть несколько статистических тестов, которые позволяют этой собственности быть проверенной на данную последовательность, но тот, наиболее часто используемый в эконометрике и технометриках, кажется, тест, применяющий коэффициент корреляции разряда Спирмана (см., например, Холландера и Вольфа 1973). Корреляция - своего рода стохастические отношения между случайными переменными. Это - статистическая пропорциональность результатов мер различных явлений. Иногда утверждается, что это относится к отклонению переменных от независимости.⁶ Основная мера корреляции - коэффициент корреляции, однако несколько других коэффициентов используются в различных ситуациях.

Процедура теста на корреляцию разряда Спирмана следующие. Натуральный номер, после последовательности возникновения элементов вовремя, присвоен каждому элементу образца. Эти натуральные числа называют разрядами. Затем, образец заказан монотонно. Естественные номера,

повышающиеся или вниз, присвоены всем элементам новой последовательности. (В общих целях не имеет значения, если эти номера присвоены, повысившись или вниз, это производит изменения в знаке из коэффициента только.)

- Для больше на корреляции, см. также раздел 3.9 в этой главе.

Таким способом второй набор разрядов, $v_i, i = 1, 2, \dots, N$ получен. Эти два набора разрядов создают матрицу:

$$\begin{bmatrix} v_1 & v_2 & \dots & v_N \\ 1 & 2 & & N \end{bmatrix}$$

где v_i - разряд i -th элемента образца.

Тогда ценность следующей функции вычислена:

$$r^{(S)} = 1 - \frac{6R_N}{N(N^2 - 1)} \quad (3.12)$$

Где:

$$R_N = \sum_{i=1}^N (v_i - i)^2 \quad (3.13)$$

Эмпирическая ценность корреляции Спирмана получена таким образом. Эта стоимость по сравнению с критическим $r_{\alpha}(N)$ взята от соответствующих столов.

Коэффициент корреляции разряда Спирмана всегда выполняет двойное неравенство: $1 \geq r^{(S)} \geq -1$. Если есть полная независимость ценностей случайной переменной относительно времени, $r^{(S)} = 0$. Если ценности переменной растут строго со временем, $r^{(S)} = 1$. Если ценности переменной также строго уменьшаются вовремя, $r^{(S)} = -1$. Эмпирические ценности находятся между $[-1, 1]$.

Чтобы проверить, значительная ли расчетная стоимость, статистическая гипотеза H_0 сформулирована, указав, что нет никакой зависимости между ценностями переменных и их положений в последовательности (то есть, нет никакой зависимости относительно времени). Официально, $H_0: \rho = 0$, где ρ - коэффициент корреляции в целом населении. Эта гипотеза установлена против $H_1: \rho \neq 0$, указывая, что ценности переменной зависят вовремя. Если следующее неравенство держится:

$$r^{(S)} > r_{\alpha}(N) \quad (3.14)$$

где $r_{\alpha}(N)$ является критическим значением, гипотеза H_0 должна быть отклонена.

Этот тест можно использовать $N \geq 4$ для $\alpha = 0.05$ и $N \geq 5$ для $\alpha = 0.01$. Для большего N , практически для $N > 10$ у этого коэффициента корреляции есть приблизительно нормальное распределение $N(0, \text{это позволяет критическим значениям быть вычисленными от образца})$.

$$r_{\alpha}(N) \approx \frac{u_{1-\alpha}}{\sqrt{N-1}} \quad (3.15)$$

где u_{α} - квантиль заказа α стандартизированного нормального распределения.

Альтернативный подход, доступный для размера достаточно большой выборки ($N > 20$), является приближением к распределению Стьюдента со степенями свободы $N - 2$. Переменная:

$$t = r \sqrt{\frac{N-2}{1-r^2}} \quad (3.16)$$

имеет Распределение Стьюдента в пустом случае $(H)_0$. В непустом случае тесты намного менее сильны, хотя t -распределение может использоваться снова.

Процедура вычисления наладки потребностей коэффициента корреляции разряда Спирмана, если есть так называемые связанные разряды.

Если есть два или больше элемента в образце с той же стоимостью, Вам нужен метод, чтобы назначить разряд на эти элементы, когда образец заказан монотонно. Среднее арифметическое — вычисленный от всех разрядов, принадлежащих этим идентичным числам — должно быть назначенным разрядом. Очевидно, назначенные разряды имеют влияние на статистический вывод. Но связанные разряды имеют плохое влияние. Чем больше количество связанных разрядов, тем больше их влияние и более неточное вычисление.

Если там связаны разряды в образце, коэффициент корреляции Спирмана может быть вычислен, используя эту формулу (например, Малинский 2004):

$$r^{(s)} = \frac{12 \sum_{i=1}^N i v_i - 3N(N+1)^2}{\sqrt{(N^3 - N - T_x)(N^3 - N - T_y)}} \quad (3.17)$$

или:

$$r^{(s)} = \frac{(N^3 - N) - 6R_N - (\frac{1}{2})(T_x + T_y)}{\sqrt{(N^3 - N)^2 - (T_x + T_y)(N^3 - N) + T_x T_y}} \quad (3.18)$$

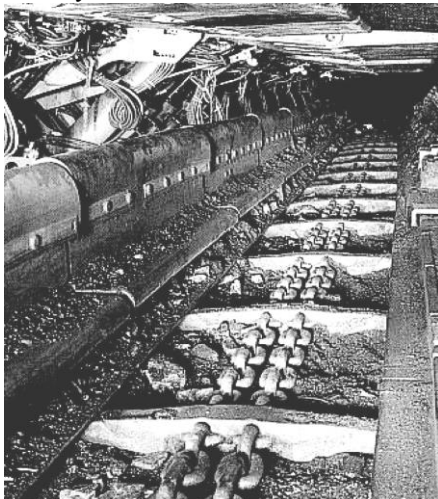
где:

$$T_x = \sum_{j=1}^g (t_j^3 - t_j) \text{ и/или } T_y = \sum_{j=1}^g (t_j^3 - t_j) \quad (3.19)$$

и g - количество групп связанных разрядов, тогда как t_j - количество связанных разрядов в j -th группе.

Пример 3.5

Расследования надежности коснулись AFC, работающего в longwall. Времена ремонта были отмечены, получая: 25, 70, 50, 170, 20, 65, 40, 90, 210, 35, 60, 115, 130, 30, 355, 30, 30, 140, 20, 90, 55, 70, 125, 65, 155, 70, 20, 35, 30, 95, 100, 25, 15, 10, 270 минута.



В первой хаотичности образца был исследован. Медиана, как находили, составляла 65 минут. Знаки были назначены на образец и количество вычисленного ряда, $s = 18$. Количество конкретных знаков было вычислено, $n_+ = 17$ и $n_- = 16$. Предполагая уровень значения $\alpha = 0.05$, критические значения взятый от соответствующих столов равняются 11 и 23.

Количество ряда в образце падает между критическими значениями, и поэтому у нас нет территории, чтобы отклонить гипотезу, объявляя хаотичность образца. Затем, Стационарность этой последовательности был проверен.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена был рассчитан путем применения уравнения 3.12, получающего

$$r^{(s)} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (v_i - i)^2}{N(N^2 - 1)} = 1 - \frac{6 \times 7808}{35(35^2 - 1)} = -0.094$$

Нулевая гипотеза, указывающая в населении, нет никаких отношений между временем возникновения, и стоимость, наблюдаемая, была проверена, предположив уровень значения $\alpha = 0.05$. Критическое значение для $N = 35$ является $r_{\alpha}(N = 35) \cong 0.282$. Поскольку:

$$r^{(s)} = 0.094 < r_{\alpha}(N = 35) \cong 0.282$$

нет никаких оснований отклонить гипотезу. Если приближение (уравнение 3.15) применено, результат идентичен, а именно:

$$r_{\alpha}(n) \approx \frac{u_{1-\alpha}}{\sqrt{N-1}} = \frac{1.645}{\sqrt{34}} = 0.282$$

Мы можем предположить, что последовательность не зависит вовемя.

Возможно, читатели заметили, что есть элементы образца с идентичными ценностями и связали разряды, должен быть применен. Поэтому коэффициент корреляции должен быть оценен, применив исправленную формулу (скажите, уравнение 3.18).

При помощи уравнения 3.19, каждый получает $T = 132$. Поэтому новая ценность коэффициента:

$$r^{(S)} = -0.095$$

Различие незначительно в случае, который рассматривают.

3.3.1 Результат стационарного тестирования со средней величиной

Информация о Стационарность или non-Стационарность данной последовательности очень важна. С теоретической точки зрения это решает, какие математические инструменты должны использоваться в дальнейших расследованиях. Если статистический примененный тест не дает территории, чтобы отклонить гипотезу, указывая, что станционная арность, дальнейшие экспертизы могут быть проведены в области случайной переменной теории. С другой стороны, если статистический тест отклоняет гипотезу на Стационарность, дальнейшее описание данных должно быть сделано, используя инструменты теории вероятностного процесса. Это намного более сложно, чем случайная переменная теория.

В физическом смысле информация о non-Стационарность очень сильная и значительная — что-то происходит с объектом. Определенный процесс бежит. Есть физическая причина и — любой ценой — она должна быть определена, обычно как можно быстрее. Иногда процесс положительный (время от неудачи до неудачи увеличивается стохастически, вызванный, например, управлением - в период для машины), но более часто это отрицательно. В противоположности может быть в опасности объект, среда объекта может быть в опасности, и/или люди, работающие с объектом, могут быть в опасности.

Обычно не-стационарность редко происходит, если управление - в период исключено. Более точно в большинстве случаев управление - в период теперь не существует из-за улучшений проектирования и производства объектов. Редкое возникновение non-Стационарность также связано с тем, что иногда техника выведена из-за изменений в операционной системе в шахте. В некоторых случаях объекты забраны из-за экономической смерти — новая машина появляется на рынке с намного лучшими параметрами, чем текущие

машины его вида. Все эти факторы означают, что случаи non-Стационарность уменьшены. Однако есть некоторые машины шахты и устройства, у которых есть ношение процессов, которые постепенно прогрессируют необратимым способом. Увеличение интенсивности неудач наблюдается, когда объект становится более старым с точки зрения своих потертых элементов, особенно если процесс ношения одежды характера усталости отмечен, такой как в приведенных в действие поддержках.

Однако горная промышленность практики показала, что возникают иногда необычные ситуации. Неудача происходит в машине, которая важна для производства и есть нехватка времени — эта машина должна быть отремонтирована как можно скорее. И к сожалению, нет запчастей элемента, который потерпел неудачу в магазине шахты. Шахтеры иногда пытаются решить эту проблему, используя подобный элемент (непосредственно или после маленькой модификации) во время ремонта. Машина работает снова, но интенсивность изменений неудач. Измененный элемент (иногда это - все собрание), выполняет его обязанности, но не полностью в пути, который ожидается. Этот период, когда машина начинает свои обязанности и интенсивность увеличений неудачи, является нестационарным, и это означает, что рабочее время между двумя соседними неудачами сокращается и интенсивность увеличений неудач со временем. Этот тип практики ремонта не рекомендуется, но к сожалению он может наблюдаться в добывающей действительности.

Нужно также добавить, что есть некоторая шахта технические объекты, такие как спускоподъемные веревки, у которых есть нестационарный процесс изнашивания почти с начала.

3.4 СТАЦИОНАРНОЕ ИСПЫТАНИЕ НА РАЗЛИЧИЕ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ

Если — после анализа — нет никаких оснований отклонить гипотезу, что проанализированная последовательность ценностей - постоянная, это не означает, что эта последовательность полностью лишена любой зависимости вовремя. Отношения могут быть более тонкими — дисперсия ценностей случайной проверенной переменной может быть не стабильной. Как правило, в добывающей практике, если это не постоянно, это увеличивается со временем.

Проблема этого типа может произойти, например, когда экспертиза данных выполняется, и интересное место должно найти надлежащую функцию, которая может удовлетворительно описать полученную информацию. Такая ситуация может быть замечена, анализируя отчеты относительно носящих усталость процессов главной веревки подъема. Сюжет в качестве примера дан на рисунке 3.1, где пунктир показывает эмпирические данные.

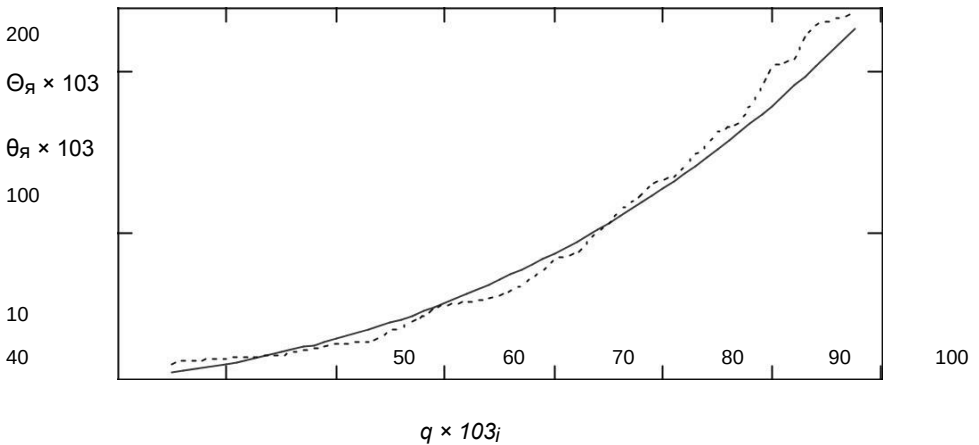


Рисунок 3.1. Общее количество трещин в проводах подъема возглавляет веревку против номера q выполненных ветров; $\Theta_{\text{я}}$ эмпирический сюжет, $\Theta_{\text{т}}$ теоретический сюжет.

Есть несколько различных функций, которые могут использоваться, чтобы описать этот тип данных, но вполне часто функция власти, определенная этой формулой, применена:

$$\Theta_t = \bar{\delta} t \chi c \zeta t \quad (3.20)$$

где:

$\bar{\delta}$, χ – структурные параметры функции

Θ_t – общее количество трещин проводов веревки

t – время (или номер q ветров)

c – постоянный

ζ_t – случайный компонент функции.

Предполагается, что случайный компонент модели включает целую стохастическую природу процесса накопления трещин во время

использования веревки. Это исключительно объясняет то, что теоретическая функция не покрывает эмпирические ценности точно. Это означает, что правая сторона уравнения - также случайная переменная, что означает, что общее количество трещин в проводах веревки - случайная переменная. Этот компонент неразличим непосредственно; однако, это может быть оценено, определив последовательность остатков. Серия эмпирических ценностей θ_t обычно отмечается после использования веревки и создания статистических данных.

Рассматривая функцию 3.20, случайный компонент может быть определен в двух пути:

- как последовательность различий между эмпирическими ценностями θ_{it} и его теоретического коллеги; для формулы (3.18) это - последовательность:

$$u_i = \theta_i - at_i^b \quad i = 1, 2, \dots \quad (3.21)$$

b. как последовательность остатков, определенных образом:

$$\hat{u}_i = \ln \frac{\theta_i}{at_i^b} \quad i = 1, 2, \dots \quad (3.22)$$

который является результатом соответствующего преобразования формулы (2.18). Заметьте, что остаток здесь - индекс власти и $c = e$.

Обе меры правильно определены, и они - две различных меры случайного компонента для функции 3.20.

Структурные параметры оценены, делая линеаризацию функции власти, которая является:

$$\ln \theta_t = \chi \ln t + \ln \delta + \zeta_t \quad (3.23)$$

и применяя метод наименьших квадратов. После этого подхода каждый получает для данных, содержащихся в рисунке 3.1:

$$\Theta_i = 6.48 \times 10^{-5} q_i^{3.22} e^{u_i}$$

где q - количество ветров. Это показывают на этом рисунке 3.1 как непрерывная функция. Кстати, многие инженеры используют этот способ рассуждать, и они убеждены что все правильно. Но это не верно. Для больше по этой теме, см. Главу 5.3.2.

Рисунок 3.2 иллюстрирует остатки u_{it} определенный функцией 3.21 для последовательности наблюдаемых данных, и рисунок 3.3 показывает остатки $\hat{u}_{it}$ (определенный функцией 3.22) против количества ветров, выполненных веревкой.

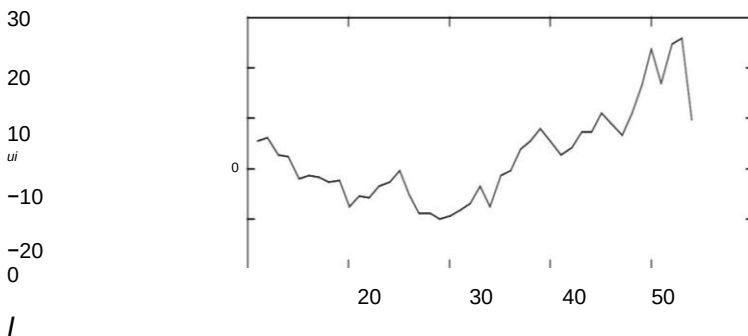


Рисунок 3.2. Отмечены остатки, определенные функцией 3.21 для последовательности данных.

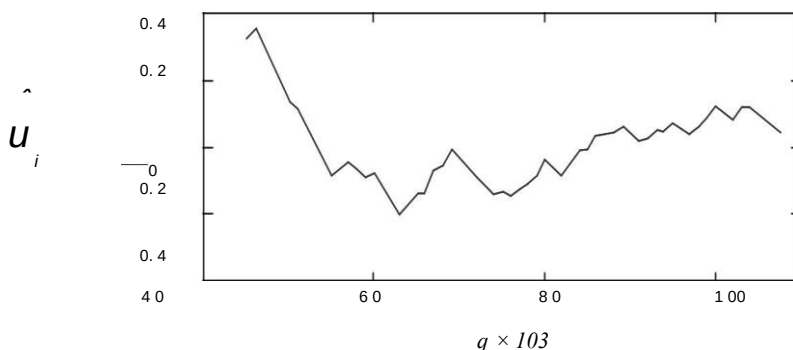


Рисунок 3.3. Остатки, определенные функцией 3.22 против количества ветров, выполнены веревкой.

Оба сюжета отличаются от типичной реализации чистого вероятностного процесса со средним нулем и конечное различие, как мог ожидать. Предложение может быть сформулировано, что должен быть фактор, имеющий это значение. Рассмотрение обоих чисел, гипотеза может быть создана, что дисперсия ценностей не равномерно распределена в стохастическом смысле. Чтобы проверить эту гипотезу, данные были разделены пополам, и для обеих последовательностей стандартная ошибка оценки была вычислена, дав 5.92 и 12.39 соответственно. Проблема теперь состоит в том, чтобы проверить, значительное ли это различие или только случайное. К надлежащему статистическому тесту нужно относиться, проясняют эти сомнения.

Два теста можно рассмотреть: тест, применяющий распределение Фишера Краскэл-Уоллис односторонний дисперсионный анализ.

Рассуждение на основе (а) принимает Гауссовское распределение случайной проверяемой переменной. Это - наиболее часто используемый

метод; однако, это предположение должно быть принято во внимание перед дальнейшим анализом.

Рассуждение на основе (b) - непараметрический метод для тестирования равенства медиан населения среди групп. Это идентично одностороннему дисперсионному анализу с данными, замененными их разрядами. Так как это - непараметрический метод, этот тест не принимает нормальное население (Краскэл и Уоллис 1952, Сигель и Кастелян 1988); поэтому, этот подход более общий.

В случае, который рассматривают предположением, может быть сделан этим, у расчетной последовательности различий есть нормальное распределение вероятности. Так, случай (a) может быть проанализирован.

Сформулируйте нулевую гипотезу $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$, что стандартное отклонение в первой половине данных совпадает со стандартным отклонением во второй половине данных. Альтернативная гипотеза может быть $H_1: \sigma_1 \neq \sigma_2$. Чтобы проверить основную гипотезу вычисляют отношение эмпирических различий, у которого есть распределение Распределение Фишера:

$$\frac{S_2^2}{S_1^2} : F(N-1, N-1) \quad (3.24)$$

где S^2 - различие от данных и $S >_2 S_1$.

Если отношение больше, чем критическое значение $F_{\alpha/2}(N-1, N-1)$ взятый от стола, предполагая уровень значения α , гипотеза H_0 должна быть отклонена.

Для примера, который рассматривают:

$$\frac{S_2^2}{S_1^2} = 4.39 \text{ тогда как } F_{0.05}(24, 24) = 1.98$$

Нулевая гипотеза должна быть отклонена — различие не постоянное вовемя.

Дальнейший анализ может быть проведен. Зная физическую природу наблюдаемого процесса, можно ожидать, что различие увеличится вовемя. Если так, альтернативная гипотеза должна быть изменена к $H_1: \sigma_1 < \sigma_2$. Для такого выбора критическое значение - $F_{\alpha}(N-1, N-1)$, который дает 1.70. Заключение: гипотеза H_0 должна быть отклонена, гипотеза H_1 - истинная. Снова, зная физическую природу наблюдаемого процесса, можно сформулировать это заявление: характерной особенностью наблюдаемого процесса является стохастическое приращение различия.

3.4.1 Результат проверки стационарности в отношении отклонений

Информация о нестационарность различия наблюдаемого процесса крайне важна для дальнейшего анализа.

Во-первых, четкий намек получен, что одно из основных предположений, которое должно быть выполнено, чтобы позволить методу наименьших квадратов быть примененным, не выполнено.

Во-вторых, с физической точки зрения, должен быть определенный физический процесс, бегущий вовремя, который производит приращение в дисперсии случайной наблюдаемой переменной. Природа этого процесса должна быть признана как можно скорее. Большая важная информация связана с этим процессом.

В-третьих, интервал прогноза для прогноза будущего общего количества трещин проводов веревки увеличится со временем. Точность прогноза, в свою очередь, уменьшится со временем. Ситуация с эксплуатацией становится более опасной со временем.

В-четвертых, потому что никакая корректировка не может быть внесена в операции веревки, единственное решение состоит в том, чтобы увеличить частоту и точность технической диагностики, выполненной на этой веревке.

Во время регулярной эксплуатации машин редко наблюдается приращение в различии случайных переменных, связанных с временами состояний. Иногда это происходит в механических объектах, которые не работают регулирование или не в порядке. Практический намек: регулирование требуется немедленно, если это возможно.

3.5 ЦИКЛИЧЕСКОЕ ОТСЛЕЖИВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ

У многих процессов в горной промышленности есть периодический характер. Эта циклическая особенность касается множества курсов бегущего действия на разных уровнях обобщения.

Организация работы в шахтах циклична. Изменение - период цикла. У эксплуатации многих машин, работающих в системах, есть циклическая природа. Кроме того, у многих машин есть свои собственные циклы операции. Периоды всех этих циклов более или менее стохастические. Давным-давно гипотеза была сформулирована, что эта периодическая операция может произвести периодический ход процесса эксплуатации (Чаплицкий 1974, 1975). В несколько промежутков времени — во время эксплуатации объекта — возникновение некоторых состояний более вероятно, чем тот из других. Если так, вероятность появления данного состояния не постоянная вовремя, но это - функция времени, и эта функция - циклическая. Кроме того, у потока скалы, извлеченной или буксируемой транспортом также очень часто, есть периодический характер. Эти две функции часто коррелируются друг с другом. В некоторых случаях более сильное заявление может быть сформулировано: если поток скалы, транспортируемой, у увеличений и обычно есть большая дисперсия в стоимости, это означает, что вероятность возникновения неудачи в единицах транспортировки увеличивается. Поэтому продукция буксирующей единицы вычислила как продукт вероятности работы единицы, и средняя масса транспортируемой скалы дает неправильную оценку

потому что, чем выше масса транспортировала, тем ниже вероятность ее транспортировки. Таким образом эта оценка дает более высокие ценности, чем она должна.

Рассмотрите проблему существования циклического компонента с формальной точки зрения. Есть два случая, чтобы рассмотреть:

- период цикла известен
- период цикла неопознанный.

Давайте рассмотрим случай (а) — период цикла известен — и обратите наше внимание к следующей схеме.

Цикл эксплуатации объекта известен и отмечен $[0, T]$. Предположите, что объект может быть в любом из k взаимно, исключая состояния, $j = 1, 2, \dots, k$. Объект наблюдается времена N — то есть, отчеты того, что продолжало объект во время циклов N , даны. Цикл разделен дискретным способом в определенные элементарные единицы времени. Если мы обращаем внимание на одну единицу времени цикла (это может быть любой), мы замечаем один из k событий. Если так, строительство распределения вероятности случайной переменной, что данное состояние наблюдается k времена в независимых испытаниях N ($N \in k$) теперь возможно. Это распределение - Мультиномиальное и дано формулой:

$$P\{X_1 = b_1, X_2 = b_2, \dots, X_k = b_k\} = \frac{N!}{b_1! b_2! \dots b_k!} p_1^{b_1} p_2^{b_2} \dots p_k^{b_k} \quad (3.25)$$

где, очевидно:

$$\sum_{j=1}^k p_j = 1 \quad \sum_{j=1}^k b_j = N$$

Рассмотрите одно состояние объекта. Его реализация вовремя состоит из реализации в промежутки времени N . Если вся эта реализация будет соединена, частота возникновения этого состояния против цикла времени будет получена для независимых испытаний N . Относительная частота, в свою очередь, является j -th оценщиком, беспристрастным, последовательным и самым эффективным для параметра p распределения (формула 3.25).

Следующая гипотеза может быть сформулирована: метод эксплуатации объекта и/или условий эксплуатации объекта может произвести значительную неисправность в процессе изменений состояний объекта. Другими словами, некоторые состояния могут происходить более часто в несколько промежутков времени во время цикла, и некоторые состоянибудут редко наблюдаться.

Имея диаграммы относительной частоты против времени в цикле для всех состояний, вышеупомянутая гипотеза может быть проверена. Очевидно, что определенная неисправность процесса появления данного состояния будет видима из-за стохастического характера процесса. Однако проблема возникает того, могут ли большие наблюдаемые изменения быть связаны со стохастической природой исключительно. Полностью изменяя проблему вопрос может быть сформулирован: сколько раз данное состояние может

произойти через мгновение времени цикла в испытаниях N , что такое событие может быть оценено как очень редкое — столь редкий, что определенный фактор эксплуатации, вероятно, произвел эту неисправность? Фактор имеет детерминированную природу.

Рассмотрите состояние интереса. Давайте обозначим его s . Если это — единственное интереса, это может быть определено следующим образом:

$$P\{X_s = b_s\} = \frac{N!}{b_s! \prod_{j \neq s} b_j!} p_s^{b_s} \prod_{j \neq s} p_j^{b_j}$$

Однако

$$\prod_{j \neq s} b_j! = (N - b_s)! \quad \text{and} \quad \prod_{j \neq s} p_j^{b_j} = (1 - p_s)^{N - b_s}$$

Таким образом

$$P\{X_s = b_s\} = \binom{N}{b_s} p_s^{b_s} (1 - p_s)^{N - b_s} \quad (3.26)$$

Мультиномаинальное распределение уменьшено до двучленного. Проблема значительной неисправности в возникновении состояния s уменьшена до нахождения номера b_s , у которого есть вероятность появления ниже, чем предполагаемый, небольшой уровень вероятности, скажите u (где $u \ll 1$), который является:

$$\binom{N}{b_s} p_s^{b_s} (1 - p_s)^{N - b_s} < u \quad (3.27)$$

Из-за известных свойств биномиального распределения будет две ценности b_s , которые выполняют это неравенство. Они будут обозначены $b_s^{(l)}$ и $b_s^{(u)}$, где $b_s^{(u)} > b_s^{(l)}$ (см. рисунок 3.4). От этой фигуры легко заметить, что критическая область определена уровнем u ; все события, имеющие вероятность ниже этого уровня, нужно всесторонне рассмотреть.

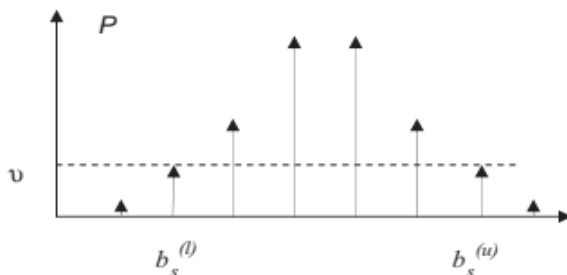


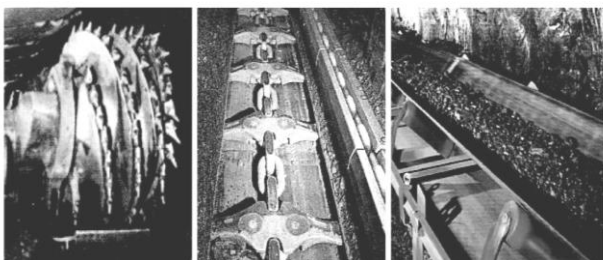
Рисунок 3.4. Двучленная плотность распределения вероятности.

У функции 3.26 есть максимум для:

$b = (n + 1)p$ если $(n + 1)p \notin \mathfrak{N}$ $\mathfrak{N}$ — набор натуральных чисел и у этого есть два максимальных значения:

$$b_1 = (n + 1)p \quad \text{и} \quad b_2 = (n + 1)p - 1 \quad \text{если} \quad (n + 1)p \in \mathfrak{N}.$$

Рисунок 3.5 показывает эмпирическую вероятность возникновения состояния ремонта для определенной системы оборудования, состоящей из комбайна, двух AFCs и нескольких конвейеров пояса, работающих в ряду в подземной угольной шахте.



Смотря на рисунок 3.5, четыре события нужно рассмотреть — все связанные с тем, что вероятность возникновения состояния ремонта для проанализированной системы выше критического уровня. Дальнейший анализ должен включить экспертизу отчетов, чтобы узнать, повторяются ли причины появления этого состояния или нет. Если причины отличаются в каждом, они были чистыми случайными событиями, редко происходящими. Если причины повторяются, они производят такой редкий случай. Этот редкий случай был не совсем случаен. Эти причины повторения должны быть устранены из дальнейшей операции системы.

Очень важно понять, что статистическая процедура только указывает, какие события должны быть приняты в дальнейшее внимание. И это - все. Дальнейший анализ должен продолжиться за пределами математической области; физические аспекты должны быть приняты во внимание и прежде чем заключительная оценка сможет быть сделана.

Чтобы закончить эти соображения, необходимо построить оценщика из неизвестной вероятности p_s данный в формулах 3.26 и 3.27. После относительного подхода частоты количество благоприятных событий представлено областью гистограммы, тогда как все возможные события

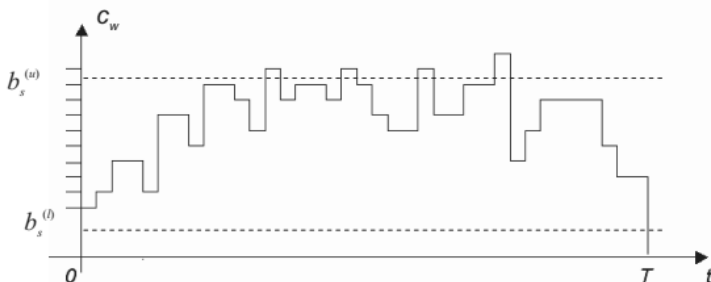


Рисунок 3.5. Гистограмма относительной частоты c_w возникновения ремонта указывает для определенной серийной системы, полученной, наблюдая систему во время циклов эксплуатации N . представленный экстраординарным

событием, когда во всех испытаниях N только одно состояние наблюдается. Поэтому функция:

$$\hat{p}_s = \frac{\sum_i t_{si}}{NT} \quad (3.28)$$

то, где t_{si} - i -th время состояния s , является оценщиком интереса.

Стоит упомянуть, что такая регулярность указывает, что вероятность возникновения состояния ремонта обладает циклическим характером, и у этого есть последствия. Но, давайте начнем соображения с эмпирической точки зрения.

В течение многих лет в подземных угольных шахтах наблюдалось устойчивое увеличение добычи руды; однако, сегодня производство уменьшается в некоторых странах. Извлекающие машины делаются с лучшими параметрами, которые обычно гарантируют рост производства. Перевозка единиц должна быть в состоянии взять этот увеличивающийся поток извлеченной скалы. Но вот проблема. У увеличивающегося потока скалы, текущей через системы конвейера, есть большая дисперсия, заставляющая использовать более широкие пояса. В поверхности, добывающей это, не проблема. В подземных шахтах, используя конвейеры с широкими поясами, скажем больше чем 2 000 мм, неудобно из-за необходимости строительства более широких подземных открытий. Это очень дорого. С другой стороны, поток скалы с высокой дисперсией, текущей на конвейерах пояса, увеличивает вероятность возникновения отказов конвейера. Эти две причины призывают к сокращению изменения потока. Использование горных дробилок/классификаторов настоятельно рекомендовано. Эти устройства могут быть найдены в некоторых комбайнах и AFCs сегодня.

Рассмотрите теперь проблему, что поток добываемой скалы имеет высокую интенсивность с большой дисперсией. Поскольку производство не устойчиво во время изменений шахты, есть несколько промежутков времени, когда этот поток будет иметь низкую интенсивность и определенный период времени, когда поток будет иметь высокую интенсивность и высокую дисперсию. Этот период с ростом производства вызывает увеличение частоты возникновения неудач во всех машинах, вовлеченных в производство, особенно извлечение и перевозку единиц. Если так, можно указать, что две переменные — поток плавной скалы и частота возникновения неудач в машинах — взаимно коррелируются.

Рассмотрите эту проблему немного более экспансивно. Для оценки, какого вида из изменений может ожидать вследствие того, что эти переменные коррелируются, можно рассмотреть два подхода. Эти две переменные можно рассматривать как периодические функции времени, или Байесовский подход может быть применен, предположив, что эти переменные рассматривают как взаимно коррелированные случайные переменные.

Первый метод утомителен, и ему нужны богатые статистические данные и длительный период наблюдения. Кроме того, когда функция интереса оценена, вероятно, что проанализированная система изменит свою структуру в шахте

— некоторые элементы оборудования будут забраны или добавлены. Помните, одна из моих систем оборудования особенностей кардинальной особенности - свое непостоянство из-за непрерывного смещения рабочих лиц и непрерывных изменений в транспортировке маршрутов.

Таким образом более простое решение состоит в том, чтобы рассматривать эти переменные как случайные и взаимно коррелированные — кроме того, коррелируемый отрицательным способом. Поскольку эти переменные совместно коррелируются, они создают двумерное распределение вероятности. Его крайние распределения легко признать.

Это - известное то, что у потока извлеченной скалы, текущей через конвейеры пояса, есть Гауссовский характер.

Пример плотности распределения вероятности потока q извлеченной скалы со средним из $\eta_1 = 1200$ т/ч и стандартного отклонения $\sigma_1 = 300$ т/ч показывают на рисунке 3.6.

В свете предыдущих соображений вероятность работы серийной системы, когда процесс эксплуатации - альтернативный, тип ремонта работы, можно рассматривать как случайную переменную, поддержанную на $[0, 1]$ более или менее симметрично. Рисунок 3.7 иллюстрирует предложенную модель, чтобы описать эту частоту возникновения. Эта функция - Гауссовская со средним из $\eta_2 = 0.75$ и стандартное отклонение $\sigma_2 = 0.10$, однако бета распределения соответствуют лучше во многих случаях.

Если проблема усечения поддержки опущена, который является, предполагается, что отсутствие усечения не произведет значительную ошибку, можно предположить, что двумерное распределение может быть приближено следующей плотностью распределения вероятности:

$$f_{QC}(q, c_r) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left\{ \frac{-1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(q-\eta_1)^2}{\sigma_1^2} - \frac{2\rho(q-\eta_1)(c_r-\eta_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(c_r-\eta_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\} \quad (3.29)$$

Интересное место - теперь продукт двух переменных, относительная частота возникновения состояния работы в системе и потоке минерала транспортировала, который является:

$$E_w = E(QC) = \int \frac{1}{x} f_{QC} \left(x, \frac{w}{x} \right) dx \quad (3.30)$$

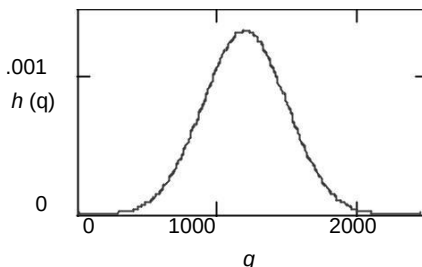


Рисунок 3.6. Плотность распределения вероятности для потока скалы в т/ч, текущем через конвейеры пояса.

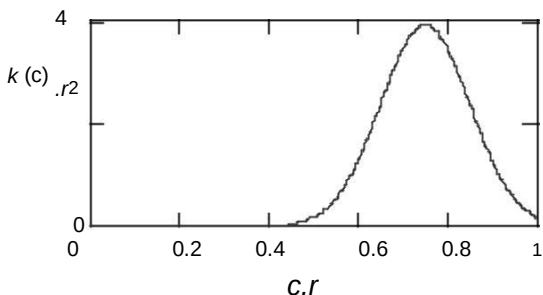


Рисунок 3.7. Плотность распределения вероятности относительной частоты возникновения состояния работы.

Это очевидно, если эти две переменные взаимно независимы (коэффициент корреляции $R = 0$), тогда вышеупомянутый фактор - продукт обоих математических ожиданий:

$$\eta_1 \times \eta_2 = 900 \text{ t/h}$$

Если эти случайные переменные коррелируются, и коэффициент, скажем, $\rho = -0.80$, снижения математического ожидания и:

$$E_w \cong 876 \text{ t/h}$$

Это не большое исправление. Однако стоит отметить, что эта стоимость зависит сильно от стандартных отклонений, и в вышеупомянутом вычислении не были предположены никакие пределы. Если, однако, они приняты во внимание, и дисперсия высока, различие может быть значительным, достигнув больше чем 20% в некоторых случаях.

3.5.1 Цикл эксплуатации объекта неизвестен (случай (b))

Внимание будет теперь уделено анализу временного ряда, хотя — как был указан прежде — параметр процесса интереса к технической практике - не всегда время.

В теории вероятностных процессов было доказано, что каждый постоянный случайный процесс нулевого математического ожидания может быть выражен как сумма двух процессов, взаимно некоррелированных, постоянных и со средним нулем. Свойства этих процессов полностью отличаются — каждый строго периодический, тогда как у второго нет циклического характера. Оба процесса, когда объединено вместе, часто создают процесс едва признанного периодического характера. Интенсивность уничтожения этого характера зависит от автокорреляции периодического процесса. Кроме того, это увеличивается, когда его различие увеличивается.

Методы, которые могут быть применены, чтобы проследить циклический компонент в дискретном вероятностном процессе типа, являются гармоническим анализом и спектральным анализом. У этой последней методологии есть очень богатая литература (см., например, Ханана 1960, Грейнджер и Розенблатт 1957, Грейнджер и Хэйтанэка 1969, Гамильтон 1994), и широко разработанная теория. Тем не менее, у этого есть некоторые недостатки, такие как произвольный выбор временных задержек в некоторых случаях или невыгодной нестационарности оценщиков процессов ковариации. Кроме того, формулы, чтобы сгладить процессы часто очень сложны. Гармонический анализ, напротив, очень стар, но это относительно просто. Давайте обратим внимание на этот метод.

Рассмотрите случай, когда данные будут даны как временной ряд $\{x_t; t = 1, 2, \dots, T\}$. Если у временного ряда нет тенденции, он может быть расширен в ряд Фурье. В математике ряд Фурье разлагает периодическую функцию на сумму простых колеблющихся функций, а именно, синусы и косинусы. После этой цепи рассуждений мы можем написать:

$$x_t = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{i=1}^T (a_i \cos \omega_i t + b_i \sin \omega_i t) \quad (3.31)$$

где a_0, a_i, b_i являются коэффициентами Эйлера-Фурье. Оценщики этих коэффициентов следующие:

$$\hat{a}_0 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T x_t \quad (3.32)$$

$$\hat{a}_i = \frac{2}{T} \sum_{i=1}^T x_t \cos \frac{2\pi i t}{T} \quad (3.33)$$

$$\hat{b}_i = \frac{2}{T} \sum_{i=1}^T x_t \sin \frac{2\pi i t}{T} \quad (3.34)$$

поскольку $i = 1, 2, \dots, T/2$.

Ценности этих статистических данных могут быть применены, чтобы проверить (или отклонить) гипотеза, что циклический компонент существует в данном образце.

Рассмотрите квадратную амплитуду процесса. Это дано уравнением:

$$\hat{A}_i^2 = \hat{a}_i^2 + \hat{b}_i^2 \quad (3.35)$$

в то время как его ожидаемое значение:

$$E(\hat{A}_i^2) = \hat{A}_E^2 = \frac{4\sigma^2}{T} \quad (3.36)$$

где σ^2 - различие ряда x_t .

Заменяя неизвестное различие σ^2 беспристрастным оценщиком S^2 (различие, оцененное от образца), каждый получает:

$$E(\hat{A}_i^2) = \hat{A}_E^2 \cong \frac{4}{T(i-1)} \sum_{t=1}^T (x_t - \bar{x})^2, \quad i > 1 \quad (3.37)$$

где $\bar{x}$ - среднее арифметическое x_t .

Давным-давно в теории периодических колебаний было доказано (Шустер 1898, 1900), что по формуле дана вероятность события, которое $\hat{A}_i^2$ будет в α раз больше, чем $\hat{A}_E^2$:

$$P(\hat{A}_i^2 > \alpha \hat{A}_E^2) = \exp(-\alpha) \quad (3.38)$$

которая дает:

$$P\left\{\left(\frac{A_i}{A_E}\right)^2 > -\ln \alpha\right\} = \alpha \quad (3.39)$$

Теперь можно проверить гипотезу о значимости цикла процесса в точке i . Можно проверить следующую гипотезу:

$$H_0 : \left(\frac{A_i}{A_E}\right)^2 > -\ln \alpha$$

Это указывает, что ценность квадрата фактора к амплитуде к математической надежде незначительна (случайный), и α - уровень значения.

Пример 3.6

Главная продукция подъема была отмечена в последовательные часы в одной африканской шахте. Данные включили $T = 64$ ч. Средняя продукция составляла 560 т/ч. Интересное место было различием между продукцией в данный час и средней передачей. Точность записи составляла 10 т/ч.

Полученные данные даны на рисунке 3.8.

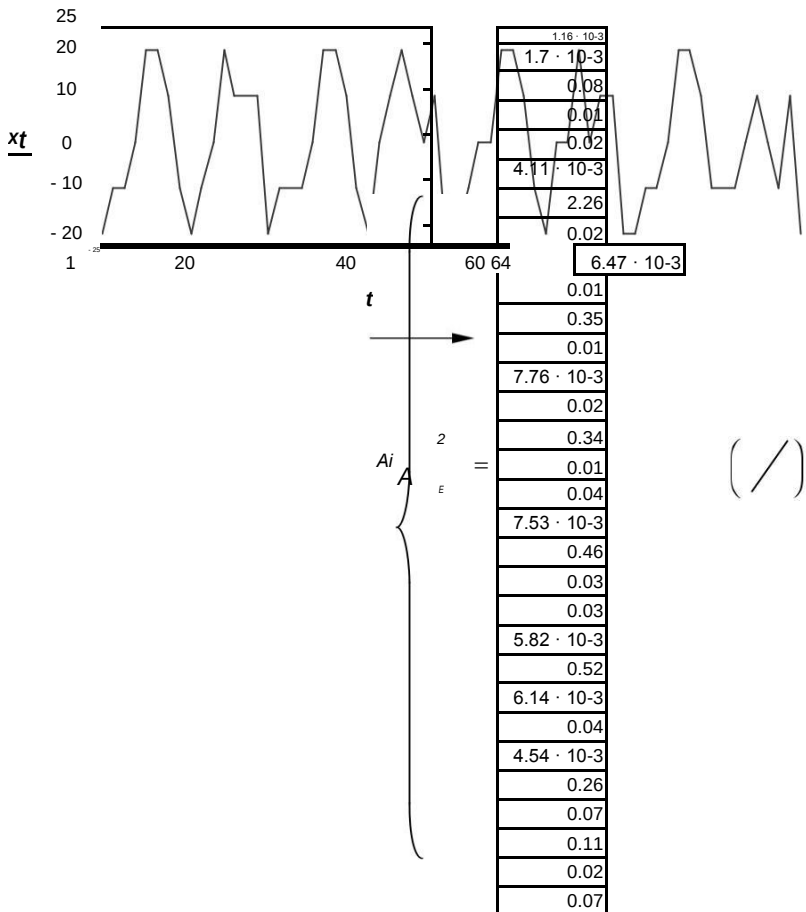


Рисунок 3.8. Различие между данной продукцией подъема и средним в последовательные часы.

Вычисления проводились, применяя формулы 3.31 к 3.39. Результаты вычисления квадратного отношения даны в колонке справа.

Легко чувствовать, что единственный скачок в стоимости в пункте $i = 8$. Поэтому возможный цикл колеблющихся:

$$T/i = 64/4 = 8 \text{ часов}$$

который соответствует интуиции.

Чтобы закрыть эти соображения, необходимо вычислить выражение $-\ln \alpha$ для предполагаемого уровня значения. Беря $\alpha = 0.10$ каждый получает:

$$\ln \alpha = 2.30$$

Эта стоимость немного выше, чем 2,26, стоимость, принятая во внимание на основе проанализированных данных. Таким образом это не дает территории, чтобы отклонить гипотезу, что наблюдаемый скачок - случайный, и никакой цикл не может быть определен. Однако зная добывающую действительность и мысль о слабой точности данных, каждый склонен принимать гипотезу, что наблюдаемый период является 8-часовым. ◀

3.6 АНАЛИЗ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ

Процессы изменений состояний мои машины и другие элементы оборудования характеризуют взаимную независимость между состояниями как правило. Редко делает время выполненного ремонта, имеют влияние на время работы после этого ремонта. Зависимые явления только происходят при особых обстоятельствах и являются скорее исключением из правила.

У процессов ношения одежды элементов машин и некоторых важных устройств шахты есть различные особенности в зависимости от факторов, таких как свойства объекта, главный характер типа ношения процесса (усталость, коррозия, абразивное изнашивание, местное массовое сокращение, например) и так далее. Горные инженеры определяют эти процессы по многим причинам. Знание физических аспектов данного процесса вместе с математической моделью хода пробега очень полезно в принятии надлежащих решений относительно процесса эксплуатации и в изменении производственного процесса объекта и улучшения работы объекта. Очень часто у исследуемых процессов есть интересные свойства, и определяющий, что эти свойства выгодны. Некоторые свойства могут даже указать, какие математические инструменты должны быть применены для подходящего описания процесса.

Рассмотрите следующий пример.

Пример 3.7

Интересное место было изнашивающимся процессом усталости головы подъема, вовлекают 58 мм в диаметре с берегами треугольной формы. Данные

включили $N = 33$ отчета общего количества трещин проводов веревки во время каждого контроля. Наблюдения делались каждые 7 дней ($t = 7$) действия веревки. Эмпирические данные, показанные на рисунке 3.9 (сплошная линия), были приближены, используя функцию власти (формула 3.20) получение:

$$\Theta_i = at_i^b$$

где $a = 4,15 \times 10^{-4}$ и $b = 2.69$ после линеаризации функции власти и применения метода наименьших квадратов получить оценки параметров функции.

Приближение было проверено посредством оценки остатков $\hat{u}_i$, применив формулу 3.22:

$$\hat{u}_i = \ln \frac{\theta_i}{at_i^b}$$

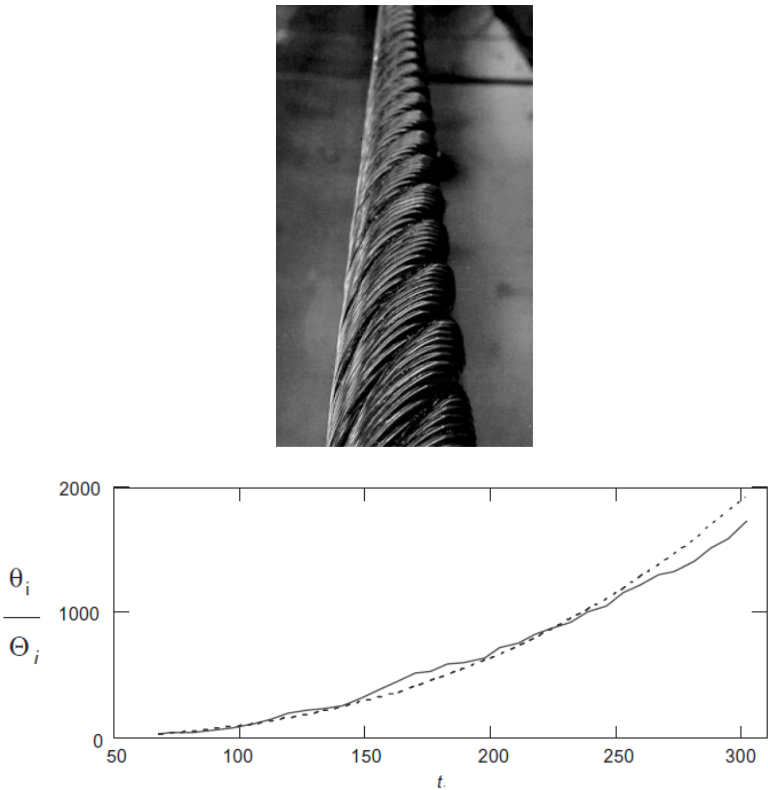


Рисунок 3.9. Общее количество трещин проводов подъема возглавляет веревку против времени числа t действия веревки; $\theta_{я}$ эмпирический сюжет, $\Theta_{я}$ теоретический сюжет.

Результаты вычислений показывают на рисунке 3.10.

Одно из основных предположений, которое должно быть выполнено в связи с применением метода наименьших квадратов, - то, что остатки не коррелируются — то есть, что нет никакой автокорреляции в случайном компоненте модели (см., например, Голдбергера 1966). Это предположение может быть написано как:

$$E \{ \zeta_i \zeta_j \} = 0 \quad i \neq j \quad (3.39)$$

Чтобы проверить вышеупомянутое предположение, четыре коэффициента корреляции были вычислены для пар (ζ_i, ζ_{i-1}) ; (ζ_i, ζ_{i-2}) ; (ζ_i, ζ_{i-3}) ; (ζ_i, ζ_{i-4}) , и эти коэффициенты были обозначены $r_1^{(a)}$, $r_2^{(a)}$, $r_3^{(a)}$ и $r_4^{(a)}$. Известная формула для вычисления коэффициента корреляции Пирсона использовалась и дала следующие результаты:

$$r_1^{(a)} = 0.83 \quad r_2^{(a)} = 0.62 \quad r_3^{(a)} = 0.39 \quad r_4^{(a)} = 0.17$$

Это представляло интерес проверить, важны ли эти ценности, и выше соответствующих критических значений.

Для ответа на этот вопрос тест Дербин-Уотсона обычно - тот, который приходит на ум (Дербин 1953, Дербин и Уотсон 1950, 1951). Однако статистическая величина Дербин-Уотсона только действительна для стохастических регрессоров и сначала заказывают авторегрессивные схемы (такие как AR (1)).

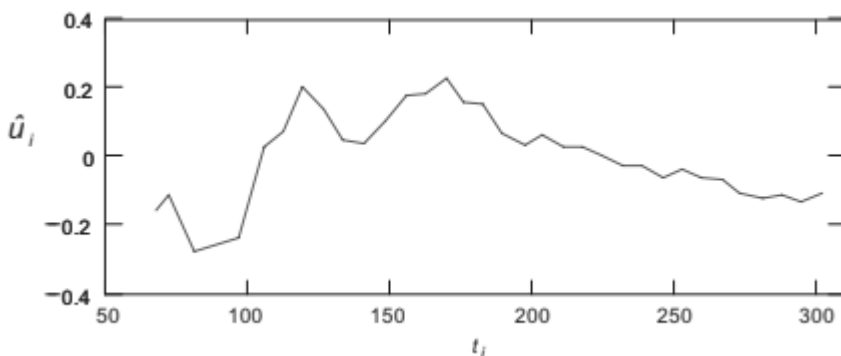


Рисунок 3.10. Остатки, определенные функцией 3.22 против числа дней работы веревки.

Кроме того, это не релевантно во многих случаях; например, если ошибочное распределение не нормально, или если оно касается зависимой переменной в изолированной форме как независимая переменная. В этих случаях это не соответствующий тест на автокорреляцию. Тест, который

предложен и не имеет этих ограничений, является тестом Бреуш-Годфри (Breusch 1979, Годфри 1978, 1988), а также тестом Павловский (Павловский 1973). Поскольку первый из этих тестов известен и более прост примениться, когда по сравнению с последним тестом, дальнейшее рассуждение будет выполнено, применяя этот вид экспертизы.

Статистическая величина Бреуш-Годфри определена следующей формулой:

$$\chi^2(c) : (N - c)(r_c^{(a)})^2 \quad (3.40)$$

где c - заказ автокорреляции.

Гипотеза H_0 : $\rho_c = 0$ объявляет, что нет никакой автокорреляции приказа c . Если это верно, следующее неравенство держится:

$$\chi_a^2(c) > (N - c)(r_c^{(a)})^2 \quad (3.41)$$

иначе у нас есть земля, чтобы отклонить гипотезу, которая является, мы можем предположить, что есть автокорреляция приказа c .

В случае, который рассматривают, мы имеем для первого, второго, третьего и четвертого заказа:

$$22.04 (3.84) \quad 11.92 (5.99) \quad 2.56 (7.82) \quad 0.84 (9.49)$$

где числа в скобках - соответствующие критические значения.

Тест Бреуш-Годфри может также быть поддержан статистической величиной Распределение Фишера, используя известные отношения между χ^2 статистической величиной и Распределение Фишера один. Было доказано методом моделирования, что для небольших выборок такой подход лучше, чем базирование их на χ^2 статистической величине.

В случае, проанализированном, это не имеет значения, какая статистическая величина применена (или χ^2 или *Распределение Фишера*), результат проверки идентичен: критическое значение больше, чем эмпирическое в третьих и четвертых случаях. Заключение: автокорреляция до второго заказа была прослежена в данных для прикладной функции приближения.

Часто в процессах вовлекают ношение в автокорреляции способа усталости, существует, и оно может быть прослежено для обоих случаев, это - когда остатки определены как различия, а также когда остатки определены по-другому.

Термин 'автокорреляция' был введен, здесь предположив, что достаточно, что у читателей есть идея о корреляции. Для дальнейших соображений этот термин должен понятый как корреляция переменной с собой по последовательным интервалам 7 времени

Четыре важных заключения могут быть сформулированы в связи с автокорреляцией.

- Автокорреляция, прослеженная в физическом процессе, очень редко связывается с чисто случайным событием (стохастический набор чисел), у которого нет связи с физической природой процесса.
- Автокорреляция означает, что есть 'память' в процессе, и будущее состояние зависит — как правило — от состояния незадолго до, иногда на некоторых состояниях, которые произошли ранее.
- Автокорреляция указывает, что функцию авторегрессии нужно рассмотреть как функцию приближения процесса.
- Если автокорреляция была найдена, дальнейшее расследование должно быть сделано, чтобы признать физическую территорию, которая является источником этой автокорреляции. Это может обеспечить важное знание о природе наблюдаемого процесса, который может позволить некоторое противодействие, если это явление невыгодно (если возможный), или позвольте инженерам использовать этот курс, если это полезно.

3.7 ОДНОРОДНОСТЬ ДАННЫХ

Заявление, что что-то гомогенно, означает, что это подобно, подобно или однородно с определенной точки зрения. В статистическом смысле, который рассматривают здесь, однородность - собственность набора данных и касается законности очень выгодного предположения, что статистические свойства взятых образцов идентичны целому населению. В горной промышленности технической практики проблема однородности данных чрезвычайно крайне важна, потому что как правило, объем выборки не очень большой. Однако во многих случаях возможно исследовать определенное число подобных объектов, работающих в подобных условиях, и можно ожидать, что взятые данные будут гомогенными; все наблюдения могут быть собраны, создав большую выборку. Нужно указать, что в таких инженерах ситуации 'виновны'. Они объекты проектирования высокой надежности и неудач редко происходят. Даже конвейер пояса хорошего качества, работающий в жестких подземных условиях только, должен ремонтироваться несколько раз каждый год в среднем. Чтобы получить соответственно большую выборку относительно отказов конвейера, длительный период наблюдения требуется теоретически. Однако часто данный конвейер не работает неповрежденный в течение такого длительного периода времени. Это будет или изменено с точки зрения строительства (посредством значительного увеличения его длины, например), или это будет демонтировано и установлено в новом месте. У этого 'старого' устройства могут быть различные ценности индексов надежности в новом месте. Чтобы получить размер большой выборки, единственное решение состоит в том, чтобы наблюдать много тех же конвейеров пояса, работающих в той же шахте. Длины этих конвейеров будут отличаться. Однако, к счастью, расследования надежности, проводимые в середине 1970-х в нескольких

подземных угольных шахтах, а также в нескольких карьерах в Польше, доказали, что для обычных индексов надежности конвейеров пояса не зависят от длины конвейера. Эта информация была чрезвычайно важна для системных проектировщиков конвейера. Это позволило им формулировать практическую рекомендацию: если горный массив должен быть буксирован конвейерами пояса, и если два пункта даны — один, где поток извлеченной скалы загружен и секунда, куда этот поток должен быть поставлен — желательно соединить эти два пункта минимальным количеством конвейеров. Надёжность системы этих единиц, связанных в ряду, зависит от количества включенных единиц (это будет доказано в Главе 7.2). Чем больше конвейеров в ряду, тем ниже надёжность ряда.

Рассмотрите следящую ситуацию с эксплуатацией. Время наблюдений дано наряду с определенным числом тех же технических объектов. Термин 'тот же' может быть понят по-разному, но здесь это означает машины, сделанные тем же производителем, имеющим те же технические параметры

⁷ Мы пренебрегаем здесь проблемой некоторых различий в определениях автокорреляции, представленной различными авторами.

и работа в подобных условиях эксплуатации. Интересное место - определенная особенность этих объектов, которые могут наблюдаться во время их эксплуатации. Соответствующие данные собраны — то есть, образцы от каждого объекта, который исследуется. Проблема состоит в том, могут ли эти образцы группироваться в одну большую выборку или, другими словами, гомогенные ли собранные данные от данного интересного места — общая черта объектов.

Со статистической точки зрения проблема касается равенства в распределениях вероятности. Есть много статистических тестов, которые позволяют гипотезу, что данные однородны, чтобы быть проверенными. Один из наиболее часто прикладного в технической практике является тестом Краскэл-Уоллиса на основе суммы разрядов (Краскэл-Уоллис 1952). Модель, которую рассматривают для этого теста, следующие.

Предположите, что получены k , те же объекты наблюдаются относительно определенной особенности и поэтому k образцы. Удобный аспект теста - то, что у образцов могут быть различные размеры. Давайте обозначим их N_i , $i = 1, 2, \dots, k$. Предположите, что случайные ценности меры особенности могут быть описаны определенным распределением вероятности $F(x)$, и статистическая гипотеза H_0 сформулирована, что все распределения вероятности идентичны, который является:

$$H_0: F_1(x) = F_2(x) = \dots = F_k(x)$$

Альтернативная гипотеза H_1 отрицает нулевую гипотезу.

3.7.1 Процедура проверки

Все элементы всех образцов собраны, и разряды назначены для монотонно заказанного набора — от 1 до N , где N - общее количество элементов во всех образцах, $\sum_i N_i = N$. Среднее число разрядов должно быть назначено на связанные ценности, если связанные ценности существуют. Затем, следующая статистическая величина вычислена:

$$K_N = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k N_i \left(\bar{V}_i - \frac{N+1}{2} \right)^2 = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{V_i^{(\Sigma)}}{N_i} - 3(N+1) \quad (3.42)$$

где: $V_i^{(\Sigma)}$ является суммой разрядов в i -th образце

$$\bar{V}_i = \frac{1}{N_i} V_i^{(\Sigma)} \text{ является средним разрядом для } i\text{-th образца.}$$

Смотря на формулу 3.42, легко заметить что, если есть больше различий между средними типовыми разрядами и общим средним разрядом, статистическая величина K_N больше. Низкая дисперсия в этом отношении, в свою очередь, будет благоприятна для гипотезы H_0 — обеспечение никакой земли, чтобы отклонить его.

Краскэл и Уоллис заметили что, если k растет и если размеры N_i увеличение, у случайной переменной K_N есть асимптотическое распределение вероятности χ^2 с $k-1$ степень свободы.

Таким образом, если следующее неравенство держится:

$$K_N \geq \chi_{\alpha}^2(k-1) \quad (3.43)$$

где $\chi_{\alpha}^2(k-1)$ является критическим значением для принятого уровня значения α , проверенная гипотеза H_0 должна быть отклонена. Для большого k , случайной переменной $\sqrt{2\chi_{k-1}^2} - \sqrt{2(k-1)-1}$ есть приблизительно нормальное распределение $N(0, 1)$. Соответственно, для большого k следующие приближения могут использоваться:

$$\chi_{\alpha}^2(k-1) \cong (k-1) \left(1 - \frac{2}{9(k-1)} + u_{1-\alpha} \sqrt{\frac{2}{9(k-1)}} \right)^3 \quad (3.44)$$

или:

$$\chi_{\alpha}^2(k-1) \cong \frac{1}{2} (\sqrt{2(k-1)} + u_{1-\alpha})^2 \quad (3.45)$$

Если некоторые „ценности“ N маленькие (то есть, меньше чем 5), распределение вероятности K_N может очень отличаться от этого распределения хи-квадрат.

Чтобы получить более точное рассуждение, когда связанные разряды находятся в образцах, исправление должно быть сделано первым вычислением:

$$i = \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^g (t_j^3 - t_j)}{N^3 - N} \right)^{-1} \quad (3.46)$$

где g - количество групп связанных разрядов, и t_j - количество связанных разрядов в j -th группе. Тогда умножьте i на K_N . Можно доказать что всегда $i > 1$ и поэтому новая ценность статистическая величина 3.42 будет больше, чем вычисленный без исправления. Это означает, что, беря исправление во внимание шанс для отклонения проверенной гипотезы увеличивается.

Пример 3.8

Были исследованы четыре установки подъема типа трения, имеющего идентичные электрические двигатели 1 600 кВт и тот же диаметр колеса 6 000 мм. Рабочие времена (h) между неудачами были отмечены, получая:

Подъем (1):	752, 304, 82, 1288, 601, 476
Подъем (2):	88, 576, 48, 1308, 711, 373, 191, 870
Подъем (3):	118, 534, 39, 1410, 660, 399, 199
Подъем (4):	228, 596, 66, 1099, 801, 370.

Гипотеза была сформулирована, что эти данные гомогенные и могут быть собраны.

Вычисления показывают в Таблице 3.1.

На основе вычислений, показанных в Таблице 3.1, статистическая величина K_N была оценена этой формулой:

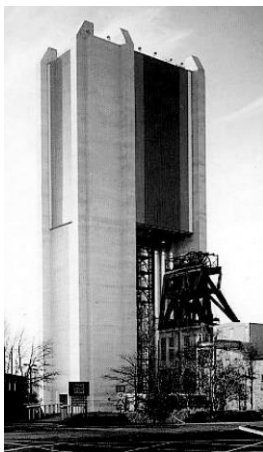


Таблица 3.1. Вычисления для оценки однородности данных.

	Подъем (1)		Подъем (2)		Подъем (3)		Подъем (4)	
	Время (часы)	Разряд	Время (часы)	Разряд	Время (часы)	Разряд	Время (часы)	Разряд
1	752	21	88	5	118	6	228	9
2	304	10	576	16	534	15	596	17
3	82	4	48	2	39	1	66	3
4	1288	25	1308	26	1410	27	1099	24
5	601	18	711	20	660	19	801	22
6	476	14	373	12	399	13	370	11
7			191	7	199	8		
8			870	23				
		92			111			86

$$K_N = \frac{12}{27(27-1)} \left(\frac{92^2}{6} + \frac{111^2}{8} + \frac{89^2}{7} + \frac{86^2}{6} \right) - 3(27+1) = 6.86$$

Для случая, который рассматривают, критическое значение для предполагаемого уровня значения $\alpha = 0.05$ и $k - 1 = 3$ степени свободы является $\chi_a^2(K - 1) = 7.81$.

Рассмотрение этих ценностей нет сомнения, что нет никаких оснований отклонить проверенную гипотезу, указывая, что данные можно рассматривать как гомогенные. ◀

Результаты соображений на однородности данных важны по крайней мере по двум причинам.

- Если нет никакой земли, чтобы отклонить гипотезу, что исследованные данные гомогенные, есть возможность собрать все данные и создать большую выборку. Это важно, потому что образцы единицы обычно маленькие в добывающей практике. Работая с большой выборкой, более сильные статистические выводы могут быть сделаны с большей вероятностью, что результаты верны.

- Если есть основание, чтобы отклонить гипотезу на однородности в данных, дальнейшее расследование должно быть сделано, чтобы проследить причину, почему данные неоднородны и какой объект 'сделал' его. Найти причины этой 'непригодности' - ценная информация с точки зрения эксплуатации.

3.8 ВЗАИМНАЯ НЕЗАВИСИМОСТЬ СЛУЧАЙНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Когда две особенности объекта исследуются, их взаимоотношения очень важны. В большинстве моделей надежности, а также в моделях эксплуатации, обычное предположение - то, что состояния взаимно независимы. Мера назначена на каждое состояние — время или другой параметр, важный с технической точки зрения (такой как тонны транспортируемой массы) — и независимость, означают свободу от любых стохастических отношений между этими переменными. Предположение, что два или больше состояний взаимно независимы, должно быть проверено, чтобы проверить, может ли данная модель быть применена или — если не — различная модель должна быть найдена (который является обычно более сложным и трудным примениться).

Расследование относительно независимости можно рассматривать как обобщение проблемы Стационарность. Иногда интересное место не только независимость некоторых состояний друг между другом, но также и независимость в отношении некоторых сопровождающих процессов — процессы, которые бегут одновременно к главному процессу эксплуатации объекта.

В математической статистике есть несколько различных тестов, чтобы проверить независимость случайных переменных. Наиболее часто используемый тесты на основе случайности⁸ столов 2×2 и 2×3 , а также тест независимого состояния на основе статистики Пирсона χ^2 .

Рассмотрите случай, где элементы определенного населения классифицированы, беря к рассмотрению две характерных особенности, говорят X и Y . Проблема состоит в том, взаимно независимы ли эти особенности. Диапазон возможных ценностей X разделен на w группы и диапазон возможных ценностей Y в k группы. Таким образом образец, который был собран, можно показать в так называемом столе непредвиденного обстоятельства, как представлено ниже.

Гипотеза H_0 , указывающая взаимную независимость X и Y особенностей:

$$H_0 : P\{X = x_i, Y = y_j\} = P\{X = x_i\}P\{Y = y_j\} \quad (3.47)$$

Следующие отношения держатся:

$$n_{i.} = \sum_{j=1}^k n_{ij} \quad n_{.j} = \sum_{i=1}^w n_{ij} \quad (3.48)$$

$$N = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k n_{ij} = \sum_{i=1}^w n_{i.} = \sum_{j=1}^k n_{.j} \quad (3.49)$$

Используя вышеупомянутое, размеры крайних вероятностей оценены:

$$p_{i.} = \frac{n_{i.}}{N} \quad p_{.j} = \frac{n_{.j}}{N} \quad (3.50)$$

И они используются для расчета значения статистики:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^k \frac{(n_{ij} - Np_{ij})}{Np_{ij}} \quad (3.51)$$

Таблица 3.2. Непредвиденное обстоятельство

Характерная черта	Y							
	y_1	y_2	...	y_j	...	y_k	$n_{i.}$	$p_{i.}$
X_1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1j}	...	n_{1k}	$n_{1.}$	$p_{1.}$
X_2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2j}	...	n_{2k}	$n_{2.}$	$p_{2.}$
$\times \dots$	...	...	...	...	...	...	...	...
X_i	n_{i1}	n_{i2}	...	n_{ij}	...	n_{ik}	$n_{i.}$	$p_{i.}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_w	n_{w1}	n_{w2}	...	n_{wj}	...	n_{wk}	$n_{w.}$	$p_{w.}$
$n_{.j}$	$n_{.1}$	$n_{.2}$	...	$n_{.j}$	...	$n_{.k}$	N	
$p_{.j}$	$p_{.1}$	$p_{.2}$	...	$p_{.j}$	...	$p_{.k}$		1

⁸Непредвиденное обстоятельство - состояние того, чтобы быть зависящим от чего-то.

У этой статистической величины — предполагающий, что гипотеза H_0 - истинная — есть асимптотическое χ распределение с $(w - 1)(k - 1)$ степени свободы. Критическая область в этом тесте всегда правосторонняя. Стоимость, полученная из формулы 3.51, должна быть по сравнению с критической для предполагаемого уровня значения α .

3.8.1 Результаты анализа независимости

В основном есть два важных сведения, полученные из анализа независимости.

Как был указан, во многих моделях эксплуатации, используемых, чтобы описать операцию технических объектов, предположение сделано этим, проанализированные объекты независимы друг от друга с точки зрения времени. Поэтому обязательно получить проверку этого предположения от

эмпирических данных, чтобы получить информацию относительно того, может ли данная модель с этим условием быть применена.

Если расследование независимого состояния дает информацию, что гипотеза независимого состояния должна быть отклонена, то очень желательно провести дальнейшее исследование, чтобы найти причины этой ситуации. Объем соображения должен быть расположен вне статистики в физической природе наблюдаемого процесса. Если у процесса есть такая собственность, от простой модели нужно отказаться. Как правило, более сложный и трудный анализ должен будет быть выполнен, чтобы проследить регулярность, существующую в исследованном процессе.

Замечание: Независимость - более сильная особенность, чем некорреляция.

3.9 ВЗАИМНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СЛУЧАЙНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

В результате расследований надежности или эксплуатации технических объектов много данных было собрано, который дает информацию о процессе изменений свойств объекта для различных методов использования и обслуживания. У одного только объекта есть ряд характерных параметров, которые важны с технической точки зрения. Очень часто это очень интересно, чтобы признать, как процесс эксплуатации объекта зависит от некоторых особенностей объекта, некоторых особенностей метода его использования и обслуживания, выраженного соответствующими параметрами. Поскольку эти параметры можно рассматривать как случайные переменные с математической точки зрения, подходящий математический инструмент, чтобы проследить и проанализировать существующие отношения в этом отношении является анализом корреляции.

Корреляция - своего рода статистическое отношение между двумя или больше случайными переменными, таким образом, что стохастически систематические изменения в ценности одной переменной сопровождаются стохастически систематическими изменениями в другой переменной (переменных). Иногда этот термин определен как степень, которой два или больше признака или измерения на той же группе элементов показывают тенденцию измениться вместе.

Есть много статистических мер этого вида отношения, начинающегося с линейных инструментов — коэффициенты корреляции различных типов (см. Главу 3.3, например) — к нелинейным мерам, частичной корреляции, нескольким и взаимной корреляции, и т.д. Многие из этих мер были успешно применены в горной промышленности технических расследований в течение многих лет.

Нет сомнения, что тот, наиболее часто используемый, является коэффициентом корреляции Пирсона (линейный), и это определено в случаях, где есть два случайных X и Y переменных формулой:

$$\rho_{X,Y}^{(P)} = \text{cov}(X, Y) / \sigma_X \sigma_Y \quad (3.52)$$

где:

$$\text{cov}(X, Y) = E(XY) - E(X) E(Y) \quad (3.53)$$

Отметьте, $\text{cov}(X, Y)$ ковариация и случайных переменных, и σ_X и σ_Y - стандартные отклонения, соответственно, X и Y .

Ценность линейного коэффициента корреляции 1 в случае строгих увеличивающихся линейных отношений между случайными переменными, -1 в случае строгого уменьшающегося линейного соотношения и стоимости промежуточный -1 или 1 во всех других случаях, указывая на степень линейной зависимости между переменными. Чем ближе коэффициент или к -1 или к 1, тем более силен корреляция между переменными.

Помните эти пункты:

Если эмпирический коэффициент корреляции между случайными переменными близок 1 или -1, это не обязательно означает, что есть действительно сильное линейное соотношение между этими переменными. Этот коэффициент показывает, что только отношения между числами, эти две переменные *могли быть* полностью не связаны друг с другом в физическом смысле.

Если эмпирический коэффициент корреляции между случайными переменными близок 0, это не обязательно означает, что эти переменные действительно не связаны друг с другом. Отношения между этими переменными *могли быть* довольно сильными, но не линейная.

Корреляция между двумя переменными растворена присутствием ошибки измерения вокруг оценок одной или обеих переменных, в этом случае *disattenuation*⁹ обеспечивает более точный коэффициент.

Если образец взят, следующий estimator¹⁰ может быть применен, чтобы получить оценку неизвестной реальной ценности коэффициента корреляции:

$$R_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.54)$$

где:

x, y - средние арифметические X_i и Y_i , $i = 1, 2, \dots, N$ соответственно.

Обратите внимание на это, потому что коэффициент корреляции, данный уравнением 3.54, линейен, $R_{XY} = R_{YX}$.

Если для данного пробуют оценку неизвестного коэффициента корреляции в населении, получен, интересное место - значительная ли эта стоимость или маленькая ли эта стоимость столь, что это указывает, что нет никакого линейного соотношения. Чтобы решить эту проблему, соответствующие

математические инструменты должны быть применены, используя теорию проверки статистических гипотез.

Статистическая гипотеза, которая будет проверена, является $H: \rho = 0$ заявлений, что нет никакой линейной корреляции между случайными переменными под следствием. Чтобы проверить, верна ли эта предпосылка, несколько различных схем могут использоваться.

Если $N > 3$ и гипотеза H держатся, чем статистическая величина:

$$t_{N-2} = \frac{R_{X,Y}}{\sqrt{1-R_{X,Y}^2}} \sqrt{N-2} \quad (3.55)$$

имеет *t-распределение* Студента с $N - 2$ степени свободы.

Если объем выборки больше, скажем $N > 50$, то статистическая величина:

$$\chi_{N-1}^2 = NR^2 \quad (3.56)$$

имеет χ^2 распределение с $N - 1$ степень свободы.

⁹Дисатенацией корреляции между двумя наборами параметров или измерений является оценка корреляции таким образом, чтобы учесть погрешность измерений, содержащуюся в оценках этих параметров.

¹⁰Существуют различные разновидности этого оценщика.

Если объем выборки очень большой, $N \geq 100$, то статистическая величина:

$$U = \frac{R}{1-R^2} \sqrt{N} \quad (3.57)$$

имеет приблизительно нормальное распределение $N(0, 1)$.

Конечно, мы можем, очевидно, использовать столы с критическими значениями для коэффициента корреляции Пирсона непосредственно.

Дальнейшая процедура, связанная со строительством критического региона для данной случайной переменной, может быть применена похожим способом к процедурам, описанным в предыдущих разделах.

Давайте теперь рассмотрим заявление этих отношений к некоторым проблемам, взятым от горной промышленности технической практики. Анализ корреляции, который будет представлен здесь, намного более проникающий, чтобы познакомить читателей с его возможностями.

Во время огромного количества исследований надежности главных подъемов в Польше, выполненной в конце семидесятых двадцатого века, их процессы эксплуатации были идентифицированы как процесс изменений четырех состояний:

- работа
- ремонт
- запланированное бездействие (из времени распоряжения)
- незапланированное бездействие в течение времени распоряжения.

Очевидно, возникновение ремонта состояний, незапланированного бездействия и работы случайно, кроме случая, когда новое время распоряжения через день начинается. В связи с этими состояниями четыре случайных переменные представляли интерес:

- время ремонта (R)
- время работы между двумя соседними ремонтными работами (W)
- время незапланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами (U)
- время запланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами (P).

Среднее время было потрачено в качестве представления этих переменных, таким образом, четыре средних раза были приписаны каждому подъему. Вопрос состоял в том, связаны ли эти параметры в некотором роде друг с другом, или быть более точными, ответы на эти вопросы разыскивались:

- Есть ли какая-либо корреляция между средним временем ремонта и среднее время работы между двумя соседними ремонтными работами?
- Есть ли какая-либо корреляция между средним временем запланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами и среднее время работы?
- Есть ли какая-либо корреляция между средним временем незапланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами и среднее время работы?
- Есть ли какая-либо корреляция между средним временем запланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами и среднее время ремонта?

Таблица 3.3a. Коэффициенты корреляции между отобранными случайными переменными.

Состояние	W	R	P	U
W	R_{WW}	R_{WR}	R_{WP}	R_{WU}
R	R_{WR}	R_{RR}	R_{RP}	R_{RU}
P	R_{PW}	R_{PR}	R_{PP}	R_{PU}
U	R_{UW}	R_{UR}	R_{UP}	R_{UU}

Таблица 3.3b. Коэффициенты корреляции между отобранными случайными переменными.

Состояние	W	R	P	U
W	1	0.486	0.648	0.554
R	0.486	1	0.076	0.197
P	0.648	0.076	1	0.588
U	0.554	0.197	0.588	1

Заметьте, что есть различие между ‘независимостью двух случайных переменных (времена работы и ремонтом) для данного процесса эксплуатации объекта’ и ‘корреляции между средним временем ремонта и среднее время работы между двумя соседними ремонтными работами’ для ряда гомогенных

объектов — гомогенно в некотором смысле, что они выполняют тот же тип работы.

Зная, что анализ корреляции будет сделан проникающим способом, все коэффициенты корреляции были вычислены, используя формулу 3.54. Таблица 3.3а иллюстрирует значение примечания, используемого, и результаты вычислений представлены в Таблице 3.3b.

Результаты вычислений могут также быть представлены в матричной форме, которую легко построить из Таблицы 3.3b. Давайте обозначим эту матрицу традиционно C .

Мы хотим проверить статистическую гипотезу H , заявляя, что нет никакой корреляции в общем населении. Чтобы проверить, верна ли эта гипотеза, мы должны сравнить эмпирический коэффициент корреляции с его критически настроенным коллегой. Объем выборки - только один для всех коэффициентов корреляции, и поэтому критическое значение - также только один.

Поэтому для предполагаемого уровня значения $\alpha = 0.05$ и для альтернативной гипотезы H_1 , которая отрицает основную гипотезу H , критическое значение - $R_{\alpha}(N - 2) = 0.325$. Эта стоимость может быть получена непосредственно из стола критических значений, или это может быть получено, применив формулу 3.55 и используя соответствующее критическое значение от стола Студента.

Смотря на расчетные коэффициенты корреляции и сравнение их с критическим значением, мы можем сказать, что в этих четырех случаях есть причины отклонить проверенную гипотезу H ; в двух случаях у нас нет территории. Это означает, что следующие заявления могут быть сформулированы в связи с набором подъемов под следствием:

- средние времена работы положительно коррелируются с соответствующими средними временами ремонта
- средние времена работы положительно коррелируются с соответствующими средними временами запланированного бездействия
- средние времена работы положительно коррелируются с соответствующими средними временами незапланированного бездействия
- средние времена запланированного бездействия положительно коррелируются с соответствующими средними временами незапланированного бездействия
- средние времена ремонта не коррелируются со средними временами запланированного бездействия
- средние времена ремонта не коррелируются с соответствующими средними временами незапланированного бездействия.

Последние два заключения очевидны и интуитивно ожидаются. Для первых четырех заключений нужно дальнейшее расследование.

Было *большое* давление, чтобы получить производительность рудника максимально высоко (из-за возможности продать уголь от Польши до стран Запада) в то время, в котором были исследованы подъемы. Поэтому несколько шахт расширили свое время распоряжения, чтобы достигнуть более высокой

производительности. Таким образом время, доступное для обслуживания спускоподъемных установок и оборудования в шахтах, было уменьшено. Исследователи в способностях шахты подозревали, что надёжность спускоподъемных установок будет поэтому уменьшена (хотя к счастью, хороший уровень безопасности в отношении подъемов сохранялся).

Концентрируя эти мысли, это была гипотеза, что более длительное время бездействия хорошо для подъемов. Более длинное запланированное бездействие должно иметь положительное влияние на надёжность подъема, тогда как незапланированное бездействие должно быть нейтральным. Поэтому частичные коэффициенты корреляции были включены в анализ и оценены.

Если несколько (говорят, k) переменные имеют влияние на исследуемую переменную, и интересное место - стохастические отношения между двумя переменными, исключая влияние остальных переменных, частичный коэффициент корреляции вычислен, который может быть выражен образом:

$$\rho_{xy.1...(j-1)(j+1)....(j-1)(j+1)...k} = -C_{ij} (C_{ii} C_{jj})^{-1/2} \quad (3.58)$$

где C_{ij} - алгебраическое дополнение элемента ρ_{ij} детерминанта матрицы C

Для трех случайных переменных, скажем, W и R , исключая влияние P , коэффициент корреляции определен уравнением:

$$\rho_{WR,P} = \frac{R_{WR} - R_{RP}R_{WP}}{\sqrt{(1 - R_{RP}^2)(1 - R_{WP}^2)}} \quad (3.59)$$

и, для данных в руке, $\rho_{WR,P} = 0.575$.

Дальнейшие вычисления коэффициентов корреляции дали следующие результаты:

$$\begin{array}{lll} \rho_{WP,U} = 0.478 & \rho_{WR,U} = 0.462 & \rho_{RU,P} = 0.189 \\ \rho_{WU,P} = 0.280 & \rho_{RP,U} = -0.05 & \rho_{WP,R} = 0.701 \end{array}$$

Из-за применения трех случайных переменных на этой стадии рассуждения, критическое значение изменяется, и это может быть определено от этой формулы:

$$R_{cr}(N-3) = \frac{t_{N-3}}{\sqrt{t_{N-3}^2 + N - k}} \quad (3.60)$$

Это - соответствующая модификация формулы 3.55 и t_{N-3} , имеет распределение Студента с $N - 3$ степени свободы. Очевидно, у всех частичных коэффициентов корреляции есть одно критическое значение, которое является 0.329. Таким образом три коэффициента корреляции значительные, и три не значительные.

Выглядит, как будто главные комментарии в связи с этой частью анализа могут быть выражены как:

- если *или* влияние средних времен запланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами исключено, *или* влияние средних времен незапланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами исключено, средние времена работы положительно коррелируются со средними временами ремонта

- если *или* влияние средних времен незапланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами исключено, *или* влияние средних времен ремонта исключено, средние времена работы положительно коррелируются со средними временами запланированного бездействия между двумя соседними ремонтными работами

- знание, что средние времена работы положительно коррелируются со средними временами ремонта и влиянием средних времен ремонта, устранено, тогда чем дольше запланированное бездействие, тем дольше среднее время работы; коэффициент корреляции очень высок, достигая 0.701.

Чтобы получить более сильные заявления, частичный коэффициент корреляции был применен снова, но на этот раз затронув четыре случайных переменные.

Следующие частичные коэффициенты корреляции были вычислены:

$$\begin{aligned} \rho_{WR,UP} &= \frac{R_{WR,U} - R_{RP,U}R_{WP,U}}{\sqrt{(1 - R_{RP,U}^2)(1 - R_{WP,U}^2)}} = 0.554 \\ \rho_{WR,UR} &= \frac{R_{WP,U} - R_{RP,U}R_{WR,U}}{\sqrt{(1 - R_{RP,U}^2)(1 - R_{WR,U}^2)}} = 0.503 \\ \rho_{WU,RP} &= \frac{R_{WU,P} - R_{RU,P}R_{WR,P}}{\sqrt{(1 - R_{RU,P}^2)(1 - R_{WR,P}^2)}} = 0.214 \end{aligned} \quad (3.61)$$

Соответствующее критическое значение теперь 0.334.

Смотря на эти числа, в свою очередь, короткое техническое резюме может быть сделано, указав что:

- чем дольше среднее время ремонта подъема, тем дольше среднее время подъема работают и *наоборот*
- чем дольше среднее время запланированного бездействия подъема, тем дольше среднее время работы подъема.

Для этих заявлений нужно некоторое разъяснение. Однако, прежде чем перейдем к этому, один пункт требует разъяснения: воздействие незапланированного бездействия на надежности подъемов. Во время корреляции иногда делались аналитические заявления, то это состояние имеет влияние, и иногда это не делает. Чтобы разобраться в этой проблеме

несколько, коэффициент корреляции, который непосредственно связан с коэффициентом determination¹¹, был применен. Сначала, интересное место было ответом на вопрос: как сильное влияние делает замены переменных **R**, **P**, **В** на переменной **W**? Несколько коэффициентов корреляции были вычислены, используя формулу:

$$R_m = \sqrt{1 - \frac{|C|}{C_{WW}}} \quad 0 \leq R_m \leq 1 \quad (3.62)$$

где:

$|C|$ является детерминантом матрицы C

C_{WW} - алгебраическое дополнение элемента ρ_{WW} детерминанта матрицы C .

В случае, проанализированном, мы имеем:

$$C = \begin{vmatrix} 1 & 0.486 & 0.648 & 0.554 \\ 0.486 & 1 & 0.076 & 0.197 \\ 0.648 & 0.076 & 1 & 0.588 \\ 0.554 & 0.197 & 0.588 & 1 \end{vmatrix} = 0.232 \quad C_{WW} = \begin{vmatrix} 1 & 0.076 & 0.197 \\ 0.076 & 1 & 0.588 \\ 0.197 & 0.588 & 1 \end{vmatrix} = 0.627$$

и:

$$R_m = \sqrt{1 - \frac{0.232}{0.627}} = 0.794$$

Коэффициент определения - квадрат коэффициента корреляции R_m , который является:

$$R_m^2 = 0.630.$$

Теперь, мы можем перевести результат, полученный на практический смысл. Это означает, что замены переменных **R**, **P**, **U** производят 63% замен переменной **W**.

После этого образа мыслей мы удаляем переменную **U** из рассуждения и повторяем вычисления. В этом случае мы имеем:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0.486 & 0.648 \\ 0.486 & 1 & 0.076 \\ 0.648 & 0.076 & 1 \end{vmatrix} = 0.386 \quad \begin{vmatrix} 1 & 0.076 \\ 0.076 & 1 \end{vmatrix} = 0.994$$

¹¹ Мы игнорируем то, что различные определения этого коэффициента могут быть найдены в профессиональной литературе здесь (см., например, Драпировщика и Смита 1998, Нагелкерке 1991, Эверитт 2002).

и:

$$R_m = \sqrt{1 - \frac{0.386}{0.994}} = 0.782$$

который дает $R^2_m = 0.612$.

Поэтому заключение может быть сформулировано, указав, что замены переменных R и P производят до 61% замен переменной W . Это позволяет окончательное решение сделанному, что переменная U должна быть исключена из дальнейших соображений.

Очевидно, у коэффициентов корреляции R_m , которые были просто вычислены, есть соответствующие критические значения, и их значение может быть проверено, формулируя соответствующие статистические гипотезы.

Если так, мы в состоянии заявить, что более длительное среднее время запланированного бездействия между неудачами подъема дает более длительное среднее время работы между неудачами подъема. Противоположное подтверждение, очевидно, не имеет никакого смысла. Практическое предложение было сформулировано, защитив это, это было неправильное решение сократить время распоряжения подъема, поскольку это затрагивает надёжность подъема.

Отдельная проблема состояла в том, как объяснить, почему среднее время работы подъема положительно коррелируется со своим средним временем ремонта и *наоборот*. Здесь интересные места были ремонтом подъема исключительно и их возникновением вовремя. Неудачи были разделены на две группы — механический и электрический. Неудачи, которые не вписывались в эти категории, были маленькими в числе, и ими пренебрегли. Анализируя неудачи, принадлежащие этим двум группам, простой и очевидный вывод был сделан, что механические ремонтные работы заняли значительно дольше, чем электрические ремонтные работы. Однако механические ремонтные работы редко требовались по сравнению с электрическими. Кроме того, период операции по подъему, которую рассмотрели в расследовании, включил период быстрого развития в строительстве наматывающих машин. Более электрический и, особенно, электронные части были введены. Поскольку это был начальный период их действия, неудачи происходили более часто. У подъемов более старого строительства были более длинные периоды ремонта, но частота их возникновения была ниже по сравнению с новыми подъемами с большим количеством электроники. Они были причинами наблюдаемой стохастической регулярности.

Интересная регулярность была замечена, анализируя обоих среднее время ремонта подъема против даты помещения этого подъема на службу и среднее время работы подъема между двумя соседними ремонтными работами против этой даты. В обоих случаях расчетные коэффициенты корреляции были значительно отрицательны. Это указало, что частота неудач подъема увеличивалась со временем, однако среднее время ремонта уменьшалось. Вся

эта регулярность была произведена изменениями в строительстве подъема, связанном с электроникой.

Расследования надежности, которые были выполнены несколько лет спустя, наблюдали уменьшение в частоте неудач и установили, что обычно надёжность спускоподъемных установок увеличилась.

3.9.1 В заключение.

В первой части этой книги теория эксплуатации была описана с вниманием на проблемы с оборудованием шахты. Чтобы иллюстрировать теорию более проникающим способом, некоторые примеры кажутся желательными. Однако перед представлением описания нескольких примеров процессов эксплуатации для частей добывающего оборудования, проблему статистической диагностики рассмотрели в этой главе. Было две основных причины уделить это внимание.

Во-первых, примеры процессов эксплуатации описывают мой, действительность и модели раньше анализировали эти процессы. У моделей всегда есть определенное число предположений, которые должны быть выполнены, чтобы использовать их и, поэтому, мы должны проверить, соответствуют ли они добывающей практике. Статистические инструменты чрезвычайно полезны в этом отношении.

Во-вторых, во время этого статистического анализа, интересная информация может быть получена на процессах эксплуатации быть исследованным. Много важной информации часто собирается, который создает хорошую основу для того, чтобы принять надлежащие решения в связи с объектом. Некоторые дополнительные доказательства в этом отношении будут даны, рассматривая процессы ношения одежды веревок головы подъема. Принятие решений на основе статистической информации может иметь влияние на проектирование и производство объекта.

ГЛАВА 4

Процессы эксплуатации - тематические исследования

Вспомните, что процесс эксплуатации технического объекта — согласно классическому определению — является процессом изменений в его свойствах во время операции. В более широком смысле это - все, что происходит с объектом от его первого применения до момента заключительного отказа объекта из использования.

Очевидно, что не 'все' важно с точки зрения эксплуатации. То, что важно и что является предметом интереса, зависит от цели исследования, которое будет проводиться. Обычно, исследователи интересуются изменениями в свойствах объекта, которые влияют на его эффективность и работу, как понято в широком смысле. В горной промышленности рассматривают две основных проблемы. Они - доходность дилемм эксплуатации и безопасности объекта, связанных с этой эксплуатацией.

У проблем безопасности есть свой собственный специфический характер. Их нужно рассмотреть двумя различными способами.

Первый подход основан на статистических данных. Это должно быть богато, в смысле количества исследованных объектов, потому что вероятность возникновения катастрофической неудачи в особенности возражает, низкое, часто очень низко. Поэтому та часть теории вероятности, которая имеет дело с редкими случаями, должна быть учтена, и теория экстремумов должна быть применена (Гумбел 1958, Кастильо 1988).

Обычно все неудачи, которые могут произойти в данном элементе оборудования, могут быть разделены на одну из трех категорий:

- катастрофические события
- потенциально катастрофические события
- безопасные события.

Обычно, вероятность возникновения катастрофических последствий может быть назначена на каждую неудачу, которая может появиться в объекте. Пространство всех возможных событий разделено на три подместа, у которых есть эта вероятность возникновения как критерий подразделения. Эти три типа событий могут быть определены следующим образом.

Катастрофическая неудача - событие, которое вызывает потерю человеческих жизней, влияет на здоровье человека и/или наносит серьезный ущерб объекту или его полному опустошению, и обычно сопровождается бедствием в среде объекта.

Потенциально катастрофическая неудача - событие, которое, к счастью, не вызывает ни одного из этих последствий, но один, для которого вероятность возникновения фатальных результатов значительная.

'Безопасная' неудача один, для которого вероятность катастрофы, связанной с объектом, не существует или очень низкая и может пренебречься.

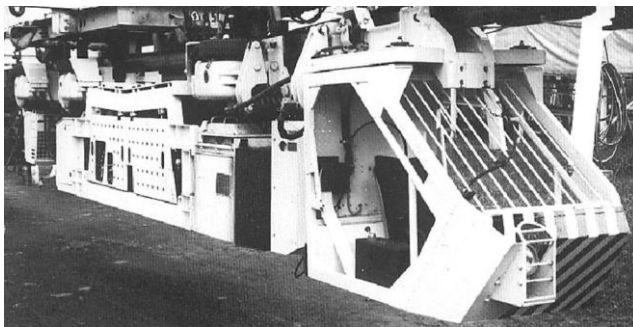
Второй подход к этой теме основан на соображениях конкретных неудач точных частей или собраний объекта, которые могут произвести катастрофические события. Строительство этих частей / собрания проанализировано всесторонне, вместе с их возможным действием относительно проблем безопасности.

У проблем безопасности есть своя собственная специфика. Есть определенные математические модели, чтобы иметь дело с ними. Рассмотрение этой области находится вне области исследования этой книги.

Четыре примера моих машин процессов эксплуатации будут теперь представлены, чтобы познакомить читателей со способом, которым описаны такие процессы. Нужно подчеркнуть, что у каждого технического объекта есть своя собственная идентичность и, поэтому, описание каждого процесса эксплуатации отличается от тех для других объектов. Составление модели не только позволяет регулярности войти процесс, который будет признан, но также и основные меры по эксплуатации процесса, который будет определен и, далее, эффективность операции по объекту, которая будет оценена.

4.1 ПРОЦЕСС ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНОГО МОНОРЕЛЬСОВОГО ПОДВЕСНОГО ЛОКОМОТИВА

Применение монорельсовой дороги приостановило системы в подземных шахтах, особенно угольные шахты, стал все более популярным во многих странах. Оборудование в шахтах стало более тяжелым, и его смещение создало серьезные проблемы.



Как решение этой проблемы, множество дополнительных систем транспортировки было построено, чтобы справиться с ним успешно. Пути транспортировки в этих системах:

- веревка
- рельс
- пол.

Роль, которую веревка играет в этих системах, может быть описана следующим образом:

- веревка - путь, в который перемещены маленькие контейнеры с грузами
 - контейнеры (пропуски, скребки, ведра, и т.д.) прикрепленный к этому пути оттянуты посредством веревки
 - различные перевозчики соединены с веревкой, и они двигаются вместе с веревкой. В единице двигателя применены четыре различных типов толчков:
- гидравлический привод (пневматический или гидравлический)
 - лебедка
 - электродвигатель
 - дизельный двигатель.

Есть две главных системы транспортировки в метрополитене использования, а именно:

- железнодорожные перевозки
- транспортировка шины.

Есть вспомогательные транспортные системы, связаны с каждой из этих главных систем транспортировки.

- Резервные системы шины применены в тех шахтах, где транспортные средства с шинами находятся в более широком употреблении.
- Железнодорожные перевозки чаще используются, чтобы поставить тяжелые единицы станции погрузки производственных разделов, но транспорт по разделу от станции погрузки до рабочих лиц сделан, используя другой тип дополнительных железнодорожных перевозок. Здесь два решения доступны в зависимости от места строительства системы:

- ◊ установленные крышей системы
- ◊ установленные полом системы.

У установленной крышей системы монорельсовой дороги есть много достоинств, включая выбор построить разветвленный след, теоретически неограниченный диапазон транспортировки — система может справиться с крутыми склонами, возможность механизировать работы перепогрузки — и то, что сумасшедший оператор перед поездом. Основные недостатки - его зависимость от условий крыши — прикладной локомотив тяжел, как правило — и применение дизельного двигателя в подземных шахтах. Дизельные единицы производят проблемы, особенно где подземные угольные шахты затронуты. Установленные крышей системы монорельсовой дороги, главным образом, используются, чтобы переместить тяжелое оборудование, такое как комбайны, плуги, бронированные конвейеры полета и приведенные в действие единицы поддержки, для longwall угольных забоев.

Давайте исследуем процесс эксплуатации дизельного локомотива, примененного в этом виде системы.

Обычно, ключевые вопросы, связанные с его действием:

- Что делает повседневную практику его использования, и обслуживание похожи?
- Это разворачивает согласно запланированной схеме?
- Локомотив отвечает требованиям шахты?
- Много проблем связаны с его эксплуатацией?

Ответы на эти вопросы важны для шахты, где это оборудование уже используется для шахт, где применение этих единиц запланировано для производителей и для конструкторов локомотивов.

Чтобы получить ответы на эти вопросы, полевые расследования - лучшее решение. Однако их должен хорошо подготовить и предшествовать предварительный анализ процессов эксплуатации локомотивов.

Давайте рассмотрим процесс эксплуатации локомотива как процесс изменений состояний. Во-первых, репертуар эксплуатации должен быть определен.

Репертуар эксплуатации - определенный набор возможных состояний данного объекта (то есть, состояния, в которых объект может быть). В общем случае несколько различных репертуаров эксплуатации могут быть построены в зависимости от набора состояний, которые являются интересными местами. Поэтому, если интересное место - надёжность объекта, построенный набор должен содержать все состояния надёжности объекта. Различный репертуар эксплуатации построен, если выполнение данной задачи элементом оборудования, который рассматривают, принято во внимание, такие как задача погрузки, буксирующая задача, задача демпинга, и т.д.

Локомотив, как объект, который может быть восстановлен, может быть по крайней мере в двух состояний. Это - **состояние работы** s_w , когда объект выполняет свои обязанности и **состояние ремонта** s_r , когда неудача происходит, и восстановление его способности функционировать требуется. Но локомотив не работает непрерывно. Есть некоторые периоды, когда локомотив ждет работы. Это третье возможное состояние называют **бездействием** s_d . Объект в состоянии работать, но нет никакой потребности в ее услугах. Кажется, что были перечислены все возможные состояния. Однако горная промышленность практики дает дополнительную информацию — иногда происходит, четвертое состояние. В некоторых шахтах происходит это четвертое состояние, когда есть нехватка запасных частей — есть неудача в локомотиве, и ремонт требуется, но это не может быть сделано из-за отсутствия необходимых запасных частей. Локомотив должен ждать, пока необходимая часть не поставлена шахте. Давайте назовем это состояние **безделья**. Поэтому репертуар эксплуатации локомотива в общем случае может быть определен как:

$$I: \langle w, r, s, y \rangle \in \{s_w, s_r, s_d, s_b\}$$

Ход в качестве примера процесса эксплуатации локомотива этого типа показывают на рисунке 4.1.

Все состояния, перечисленные здесь — который важен — отделимы.

Как только информация обо всех выполнимых состояниях доступна, следующий шаг - определение возможных переходов между этими состояниями.

Когда реальный ход процесса эксплуатации исследован, легко заметить все возможные переходы между состояниями, которые могут произойти на практике. Их показывают на рисунке 4.2. Это иллюстрирует так называемый *граф эксплуатации*. Термин 'граф' ¹ используемый здесь не означает обычной картины.

- Чтобы получить некоторое представление относительно теории графов смотрят на Гулда 1988 или Агнарссон и Гринлоу 2006, например.

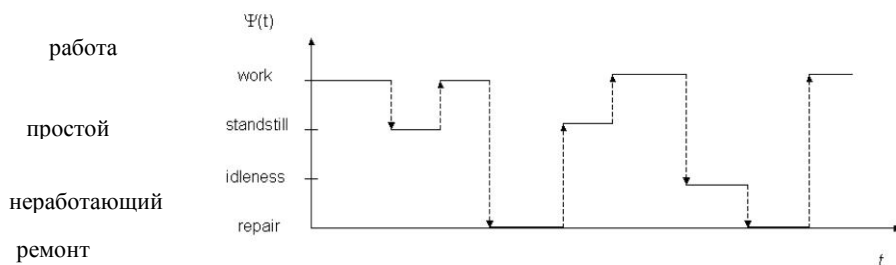


Рисунок 4.1. Ход в качестве примера процесса эксплуатации приостановленного локомотива.

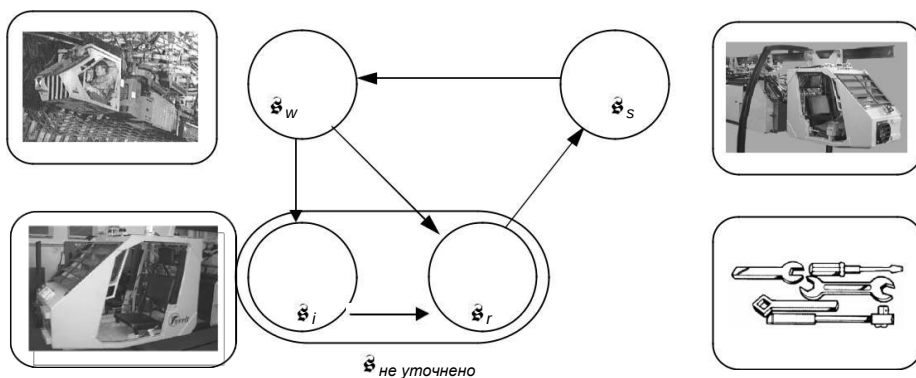


Рисунок 4.2. Граф эксплуатации приостановленного локомотива.

Этот термин взят из математической теории графов, в которой предметы исследования - графы, математические структуры раньше моделировали попарные отношения между 'объектами' из определенной коллекции. 'Граф' в этом контексте относится к коллекции 'вершин' или 'узлов' и коллекции 'краев', которые соединяют пары вершин. Графы, используемые в теории надежности

и теории эксплуатации, 'направлены', что означает, что важно знать, от которой вершины возможно пойти в другую вершину.

Граф эксплуатации - графическое представление принципа переходов между состояниями в процессе эксплуатации объекта, понятого как процесс изменений состояний (см. также Главу 7.1). Обратите внимание, что рисунок 4.1 показывает курс в качестве примера, тогда как иллюстрация 4.2 пункта принципы следовала в процессе. Это содержит информацию о:

- все возможные переходы между состояниями
- направления этих переходов.

Если это требуется, возможная интенсивность поручена на каждый переход дать информацию о том, как часто данный переход происходит.

Есть также третий математический способ иллюстрировать принципы перехода процесса, а именно, в форме матрицы, хотя в случае, который рассматривают здесь, нет никакой потребности представить его. Однако, если процесс изменений состояний будет иметь тип Маркова (то это будет определено в Главе 7), создание матрицы, демонстрирующей, что возможное переключение в данной интенсивности этих переходов очень полезно. При помощи данных, содержащихся в матрице, может быть сделано строительство уравнений, чтобы определить ограниченную вероятность состояний. Эта методика будет представлена в Главе 7.1.

В конце этих соображений о возможных состояниях объекта нужно добавить, что, если интересное место - способность локомотива выполнить ее обязанности тогда, два состояния могут быть объединены или смешаны 2, Это состояние безделья и состояние ремонта, — для в обоих из этих состояний, машина находится в неудаче, и это не в состоянии работать.

После смешивания:

$$s_i \cup s_r = s_{ns}$$

у нас есть новое состояние, s_{ns} названное состоянием неэксплуатационной надежности локомотива.

У всех **состояний** процесса есть свои собственные **свойства**, которые могут быть выражены отобранными мерами. Некоторые из них крайне важны с практической точки зрения, но два являются самыми важными. Они:

- частота возникновения данного состояния в процессе
- относительная частота времен данного состояния.

Эта первая мера - оценка соответствующей вероятности, тогда как второй является оценка плотности распределения вероятности.

Объяснение для использования локомотива более сильно для высокой вероятности возникновения состояния работы для частых требований использовать локомотив и когда вероятность бездействия низкая. Иногда,

анализируя параметры эксплуатации, легко прийти к заключению, что требуется дополнительный локомотив.

Если среднее время состояния работы долго относительно среднего времени ремонта, мы склонны сказать, что надёжность машины высока. Идя далее с нашим анализом, стандартные отклонения случайного рабочего времени переменных и времени ремонта должны быть проанализированы. Обычно предпочтительно, что дисперсия этих переменных низкая. Это более удобно для технического планирования. Однако эта дисперсия - функции типов частей и собраний, используемых в строительстве локомотива. Для объекта со многими электрическими и/или электронными частями обе переменные могут быть успешно описаны показательными распределениями 3, Если есть большое количество механических деталей, и их надёжность важна, распределение вероятности времен ремонта не соответствует показательной функции. Вейбулл или гамма распределения обычно применяются, и в некоторых случаях другие функции.

Шахты используя большое количество локомотивов того же типа от того же производителя должны обратить внимание к ценностям параметров надёжности, оцененных от данных, взятых от добывающей практики. Если дисперсия ценностей данного параметра низкая, и средняя стоимость высока, можно прийти к заключению, что производство локомотивов этого типа стабилизировано, и машины будут иметь высокое качество. Для производителя 'плохого' оборудования дисперсия ценностей параметров надёжности высока, как правило. Однако есть некоторые исключения к этим правилам. Если 'хороший' производитель начинает производить определенный тип машины, у индексов надёжности этой машины могло первоначально быть широкое распространение, но обычно в скором времени производственный процесс улучшается, и ценности параметров *стабилизированы*, и их дисперсия становится уменьшенной. Аналогичная ситуация может быть отмечена, когда есть модификация к существующему типу машины в настоящее время в производстве.

Если четвертое состояние происходит в процессе эксплуатации локомотива, это - ясный признак, что управление запасными частями бедно. Если эта ситуация - эпизод, ею можно пренебречь. Если состояние безделья появляется более часто, улучшение управления запасными частями обязательно — и должно быть предпринято сразу. Если никакие меры не будут приняты, параметры работы машины значительно уменьшатся.

Обычно возникновение состояния безделья связано с плохим менеджментом в мой и плохое сотрудничество между шахтой и машинным дилером или производителем.

- В дополнение к смешиванию можно найти слияние условий, скопление и консолидацию (см., например, Лимниос и Оприс, 2001г. стр. 46).

- Отношения и числа представили, здесь взяты от результатов полевых исследований, которые описаны Чаплицкий 2006а. Гиза 2008 получила подобные результаты.

Ценности параметров эксплуатации данной машины зависят от политики в отношении машинного использования и обслуживания и обслуживания. Эта политика имеет большое влияние на частоту возникновения некоторых состояний и на средних ценностях времен некоторых состояний. Каждый машинный производитель дает ясные признаки и рекомендации о том, как машина должна быть использована, какие виды обслуживания должны быть выполнены и какие виды режима обслуживания должны быть обеспечены, чтобы держать машину в соответствующем общем состоянии. Управление шахтой ответственно за осуществление этих рекомендаций и если они не будут сопровождаться, эффективность машины уменьшится.

Так называемые *условия эксплуатации* (готовый к эксплуатации ограничивает) имеют большое влияние в ходе процесса эксплуатации технического объекта.

Все, что является 'вокруг' объекта и имеет некоторое влияние на него, можно назвать условиями эксплуатации. Есть определенное взаимодействие между объектом и его средой. В случае, который рассматривают, условия эксплуатации включают метрополитен шахтной атмосферы, состав и параметры воздуха, такие как температура, влажность, содержание пыли, corrosivity, и т.д. Стабильность крыши имеет огромное влияние на оптимальную операцию приостановленного локомотива. Некоторые дальнейшие компоненты могли быть перечислены здесь, но этот общий принцип всегда сохраняется: условия эксплуатации технического объекта, операционный метрополитен очень трудный и что среда объекта проблематична. Все эти компоненты приняты во внимание в стадии проектирования объекта. По этим причинам у многих из этих объектов есть множество увольнений в чувстве надежности. Эти излишки могут быть параметрическими, структурными, информатика, и т.д. Их существование (или их отсутствие) часто определяют степень, до которой объект выполняет свои обязанности и с эксплуатационных точек зрения и с точек зрения безопасности. Они имеют сильное влияние на частоту возникновения неудач объекта, включая связанных с безопасностью. В случае, который рассматривают здесь, наблюдение за локомотивами было сделано в течение 1 500 дней. В это время 130 ремонтных работ были отмечены наряду с соответствующими временами ремонта. Все элементы, которые потерпели неудачу, были определены, который допускал всесторонний анализ отказов. Все случаи, где было отсутствие запасных частей, были также отмечены. Вся эта информация обеспечила основание, на котором можно сделать и анализ надежности и синтез.

Сначала, предварительный статистический анализ был сделан, который включил оценку хаотичности последовательностей, отслеживания выбросов, Стационарность анализ автокорреляции и анализ. Выбросы, прослеживающие, включили расследования того, наблюдались ли чрезвычайно большие ценности в последовательностях времен ремонта и рабочих времен. В этом

отношении не было никаких доказательств. Стационарность анализ исследовал, ли наблюдаемые последовательности рабочих времен и времен ремонта, а также времен, когда локомотив ждал требования работать, увеличенный или уменьшенный стохастически вовремя. Во всех случаях не было никакой территории, чтобы отклонить гипотезу Стационарность. Анализ автокорреляции проверил, была ли память о первом, втором и третьем заказе в последовательности времен ремонта. Во всех случаях, исследованных не было никаких причин говорить о памяти в наблюдаемом процессе. Наконец, взаимная независимость была исследована, который был проверкой гипотезы, что время данного ремонта имеет влияние на время работы сразу после этого ремонта. Снова, не было никаких данных, чтобы утвердить такую гипотезу.

Этот анализ разрешает статистическому синтезу начинаться.

Во-первых, существенные статистические параметры были оценены для всех состояний (см. Таблицу 4.1).

Это:

- средние времена для всех состояний;
- среднее отклонение для всех состояний.

Таблица 4.1. Оценки основных параметров надежности а приостановленный локомотив.

Состояние	Среднее время	
	минута	Среднее отклонение минута
Ремонт	128	87
Работа	4540	2990
Бездействие	121650	146620

Следующий шаг включил идентификацию распределений вероятности, которые удовлетворительно описывают времена для данных состояний, один за другим, за исключением состояния безделья. Гистограммы были построены, показав эмпирические функции плотности вероятности. Формы этих гистограмм указали, что Уейбулл или гамма распределения должны быть учтены. Гамма распределения были выбраны, и их параметры были оценены, используя метод Пирсона моментов. Полученные результаты использовались, чтобы улучшить оценки, применяя метод максимальной вероятности.

Оценки параметров плотностей распределения вероятности были применены, чтобы проверить гипотезу, что функции распределения вероятности описывают эмпирические данные хорошо. Тест Кольмогорова-Смирнова использовался в качестве теста на совершенство подгонки. Во всех случаях не было никаких причин отклонить статистическую гипотезу, что наблюдаемые расстояния между эмпирическими и теоретическими распределениями не были значительными. Плотность распределения вероятности времен ремонта показывают на рисунке 4.3, и рисунок 4.4

иллюстрирует плотность распределения вероятности рабочих времен для исследуемой машины.

До этого пункта параметры и функции, которые были оценены, характеризуют состояния индивидуально. Теперь особенности, которые описывают процесс изменений состояний, будут исследованы. Самой важной для поддающихся ремонту объектов является установившаяся доступность. Согласно классическому определению, это - вероятность события, что в любой данный момент вовремя объект находится в состоянии работы при условии, что его процесс изменений состояний имеет тип ремонта работы. Поэтому для случая, который рассматривают им, необходимо изменить эту меру по доступности и рассмотреть его в более широком смысле.

Во-первых, если эта вероятность работы для локомотива должна быть вычислена, необходимо смешать два состояния: ремонт и безделье. В обоих из этих состояний машина не работает и не в состоянии выполнить обязанности.

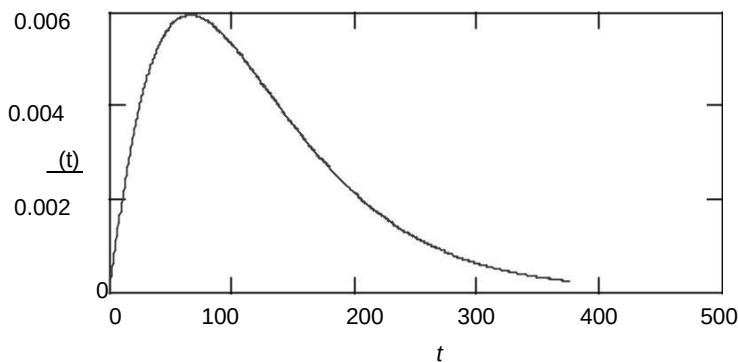


Рисунок 4.3. Плотность распределения вероятности времен ремонта локомотива.

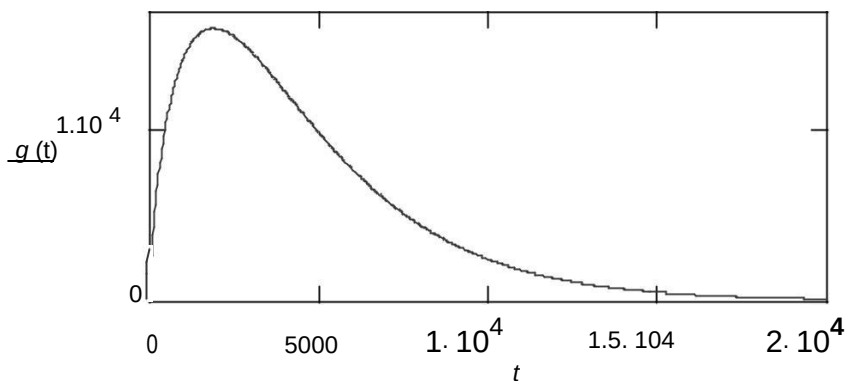


Рисунок 4.4. Плотность распределения вероятности рабочих времен локомотива.

Поэтому параметр ν должен быть полон решимости указать, как часто состояние безделья появляется относительно состояния ремонта. Для

исследованного локомотива $v \cong 21$, что означает, что каждый 21 downtimes связаны с отсутствием запасных частей в среднем. Таким образом эксплуатация установившаяся доступность локомотива определяет формулу:

$$A_i = \frac{T_w}{T_w + T_r + (T_i / v)} \quad (4.1)$$

где:

T_w – среднее время работы

T_r – среднее время ремонта

T_i – среднее время безделья.

Для проанализированного случая, $i = 0.434$, который является очень низким.

Предположим, что производитель локомотива гарантирует доставку недостающей запасной части, скажем, за 48 часов.

В этом случае эксплуатация установившаяся доступность становится:

$$A_i = \frac{4540}{4540 + 128 + \frac{48 \times 60}{21}} = 0.945$$

Различие большое.

Интересный случай возникает, когда запасные части доступны без любой проблемы. Установившаяся доступность достигает $i = 0.973$.

Следующий привлекательный параметр эксплуатации - сумасшедшее использование 4, Это может быть определено как отношение:

$$U_i = \frac{T_w^{(\Sigma)}}{T_f} \quad (4.2)$$

где:

$T_f^{(\Sigma)}$ – полное время сумасшедшей работы в предполагаемое время T_f

T_f – предполагаемое время сумасшедшей операции, скажем, месяц.

Эта мера сообщает, до какой степени локомотив необходим. Чем выше его стоимость, тем больше объяснение, чтобы использовать эту машину. Для высокой ценности U_i , практически для $U_i > 0.85$, шахта должна рассмотреть заявление дополнительной единицы.

Шахты, которые используют локомотивы данного типа, должны сравнить ценности параметров, полученных после расследований эксплуатации с ценностями соответствующих параметров для локомотивов, произведенных различными производителями. Это предоставит ясную информацию о том, является ли решение использовать конкретные единицы в шахте хорошей.

В случае, который рассматривают здесь, главные заключения были следующие.

- Процесс изменений состояний - постоянный, что означает, что объект правильно произведен в производстве, и его процесс эксплуатации - стандартный.

- Состояния работы и ремонта взаимно независимы, и у последовательности времен ремонта нет автокорреляции. Это означает, что нет никакого необычного процесса, сопровождающего процесс изменений состояний; ношение одежды локомотива обрабатывает пробеги стандартным способом.

- Обратите внимание, что доступность - собственность объекта, и установившаяся доступность - главная мера его (один из многих). Использование, в теории эксплуатации, является мерой процесса эксплуатации объекта и относится к степени, до которой объект был использован, чтобы выполнить его обязанности. Термин 'использование' также применен в некоторых других научных дисциплинах и имеет подобное определение. Например, в теории очередей это - пропорция ресурсов системы, которая используется трафиком, который прибывает в него.

- Среднее время сумасшедшего ремонта составляет приблизительно 2 часа, и эта стоимость подобна ценностям локомотивов, сделанных другими производителями.

- Среднее рабочее время локомотива, который составляет приблизительно 76 часов, является хорошей стоимостью; у некоторых локомотивов, сделанных конкурентами, есть более низкие ценности рабочего времени.

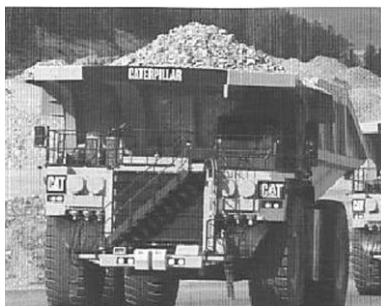
- Коэффициенты изменчивости и в течение времен работы и в течение ремонта, приблизительно в 60 %, подобны коэффициентам, характеризующим продукты конкурентов.

Специальный комментарий, с соответствующими рекомендациями, был сделан в связи с любопытной ситуацией отсутствия запчастей.

Результаты всестороннего анализа отказов, который был предпринят одновременно, были опущены в этом счете, потому что это - отдельный вопрос почти просто природа надежности. Между прочим, самая высокая частота неудач была связана с механизмом толчка и основным двигателем, вызвав приблизительно 80 % всех неудач и составляя приблизительно 90% полного времени ремонта.

4.2 ПРОЦЕСС ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВИКА В СИСТЕМЕ ЛОПАТНО-ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В открытых горных работах грузовик - существенный элемент оборудования, но системы грузовика совка также применены на некоторых добытых открытым способом предприятиях. Эти системы распространены в землеройных проектах. Есть тысячи этих машин, работающих во всем мире.



Как поддающийся ремонту объект, грузовик может быть в двух состояниях s_w надежности. Это состояние работы s_w и состояние ремонта s_r . Третье состояние запасное s_0 — грузовик ждет требования. Предполагается, как правило, что в запасе интенсивность неудач грузовика - ноль или, чтобы быть более точной, интенсивность неудач грузовика в запасе незначительна.

Поскольку грузовики работают в реальных системах, еще одно состояние нужно рассмотреть. У каждой ремонтной мастерской для грузовиков есть определенная способность, и ее способность работать ограничена этим фактом. Поэтому очередь из неудавшихся грузовиков, ждущих ремонта, может иногда происходить. Обозначьте это состояние s_q . Очередь может произойти из-за двух причин. Во-первых, количество станций ремонта конечное и обычно не очень большое по сравнению с количеством единиц быть обслуженным. Во-вторых, может быть нехватка некоторых запасных частей — этот тип случая был проанализирован в Главе 4.1.

Если эти четыре состояния рассматривают, граф эксплуатации может быть представлен как на рисунке 4.5. Заметьте, что этот набор состояний и их взаимоотношений представляет интерес, в первую очередь, с точки зрения надежности. Стоит отметить что:

- состояние s_q происходит, потому что грузовики работают в системе, таким образом, состояние s_q не собственное состояние этой машины — оценивая установившуюся доступность грузовика и позже системную эффективность грузовика, состояние должно быть смешано с состоянием ремонта (в этих двух состояниях, грузовик не в состоянии выполнить свои обязанности — это находится в неудаче), таким образом:

$$s_q \cup s_r = s_{ns}$$

и это новое состояние, названо состоянием неэксплуатационной надежности грузовика.

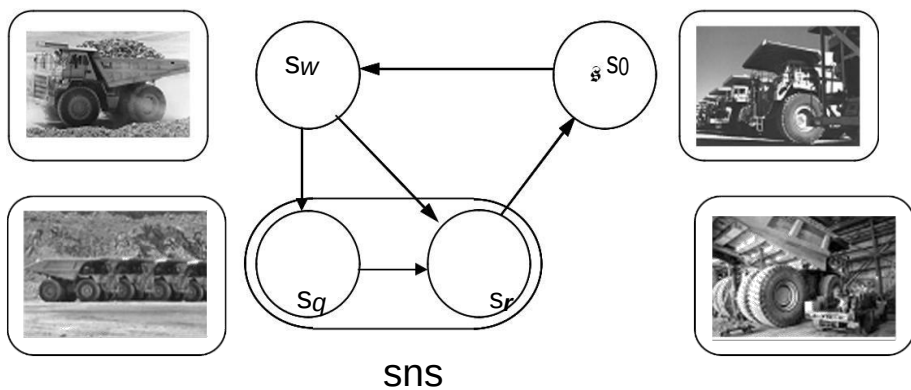


Рисунок 4.5. Граф эксплуатации грузовика с состояниями надежности.

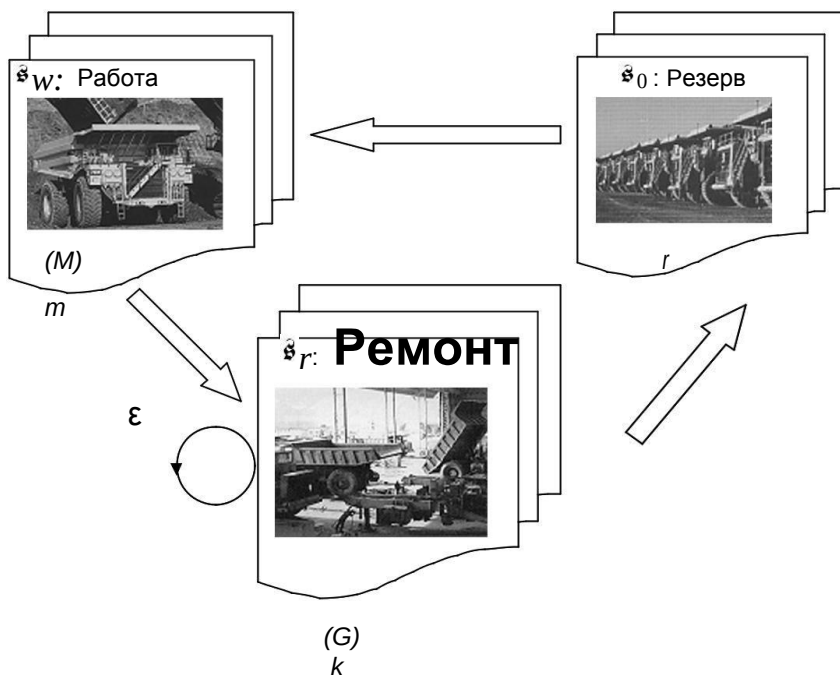


Рисунок 4.6. Операционная схема системы грузовика.

η

У эксплуатации грузовика есть периодический характер, и поэтому его действие может быть смоделировано теорией 5 очереди. Зная диапазон моделей, которые являются предметом анализа в этой области, легко заметить что классическая проблема ремонтника, которую рассматривает Пальма (1947) судороги хорошо в этом случае. Это может быть представлено коммуникативным способом рисунком 4.6. В общем случае это принято это

⁵Эту теорию, родившуюся в начале двадцатого века, называли как теория очередей или теория линии ожидания. В Центральной и Восточной Европе эту теорию называли как теория обслуживания массы. Последний термин кажется более соответствующим, выражая сущность вопроса. есть много распределений вероятности времен работы и ремонта, и интенсивность переходов между состояниями определена, скажем, ϵ и η . На этой картине примечание Кендалла введено (эта система описана всесторонне в Главе 8.3). Чтобы правильно прочитать примечание, представленное в этом числе, буква М обозначает показательное распределение. Это использовалось здесь, потому что исследования надежности показали (Чаплицкий 1989, Теменг 1988), что распределение вероятности рабочих времен может быть описано удовлетворительно показательным законом. Круг слева от состояния ремонта обозначает очередь; очередь из неудавшихся грузовиков, ждущих ремонта. Такая очередь почти постоянная в ужасно организованной системе грузовика без резервного средства (иногда, это - результат нехватки денег). В хорошо организованной системе очередь может время от времени происходить, но не длится долго и не включает много единиц.

Процесс эксплуатации грузовика будет теперь исследован с функциональной точки зрения. Цель грузовика состоит в том, чтобы транспортировать материал и в горной промышленности — в первую очередь —, чтобы буксировать извлеченную скалу. Поэтому необходимо рассмотреть доступность грузовика для проведения транспортировки, а также ее недоступности. Список возможных состояний следующие:

- s_r — восстановитесостояние (прояснение неудачи)
 - s_{nd} — состояние недоступности для транспортировки
 - s_{nz} — состояние неспособности для транспортировки
 - s_w — состояние работы
 - s_0 — зарезервируйте состояние
 - s_{zd} — состояние способности (и также доступность) для транспортировки
- и репертуар эксплуатации $\mathbb{G}_t$:

$$\mathbb{G}_t: < s_w, s_r, s_{nd}, s_{nz}, s_0, s_{zd} >$$

Одному состоянию, перечисленному здесь, нужно еще некоторое объяснение — состояние s_{nd} . Это - известное то, что грузовик не выполняет свои обязанности непрерывно. Этому нужны топливо и наличие бака, скажем, способности на несколько тысяч литров, это будет неспособно транспортировать в течение некоторого времени, в то время как ее пустой бак заполнен. Для изменений водителей также нужно некоторое время. Водитель

не находится непрерывно за рулем в течение восьми или десяти часов. Перерывы на кофе должны быть обеспечены, специально для соображений безопасности. Обычно грузовик находится в провинциальных областях штата, готовых выполнять его обязанности, но он не буксирует. С точки зрения надежности грузовик находится в состоянии работы.

Список возможных состояний, изложенных выше, не отделим. Их взаимоотношения показывают на рисунке 4.7. Альтернативный способ иллюстрировать эти состояния их отношениями состоит в том, чтобы представить соответствующую систему уравнений, в которых состояния поняты как наборы. Такой набор будет представлен, рассматривая процесс эксплуатации для совка в Главе 4.3.

Соответствующий граф эксплуатации для грузовика, принимающего во внимание только отделяемые состояния, будет теперь построен. Это может быть изображено как на рисунке 4.8. Все переходы между состояниями возможны на практике, и это показывают в этом числе.

Давайте теперь посмотрим на процесс эксплуатации, рассматривая *цикл работы грузовика*. Это - заказанный набор грузовика рабочие фазы с назначенными временами, которые являются случайными переменными. Каждая фаза характеризует другой тип работы, которая будет сделана машиной. Обычно цикл работы грузовика понят как четырехэтапный цикл, возвращение свалки трофея груза (рисунок 4.9), или двухэтапный цикл, конкретный тип обслуживания, такого как путешествие груза (возвращение свалки трофея средств путешествия) (рисунок 4.10).

Полевые расследования показали, что распределения времен фаз цикла работы могут быть описаны удовлетворительно нормальными распределениями вероятности (cf. Чаплицкий 2009).

Исследование фигурирует 4.9 и 4.10 более тщательно и сравнение их с добывающей практикой, некоторые сомнения могут возникнуть в связи с очередями на грузовики. Теоретически, очередь из грузовиков может произойти в любом пункте на маршруте грузовика (пренебрегающий здесь очередью неудавшихся единиц, ждущих ремонта). Во-первых, обратите внимание, что очередь - *побочный продукт* эксплуатации грузовиков в системе. Наблюдая системы грузовика совка во время их эксплуатации, можно чувствовать, что очередь может быть замечена при демпинге пунктов, в дробилке, в пункте, где грузовики соединяют себя с воздушным проводом, если система помощи тележки применена в шахте и, очевидно, при погрузке машин.

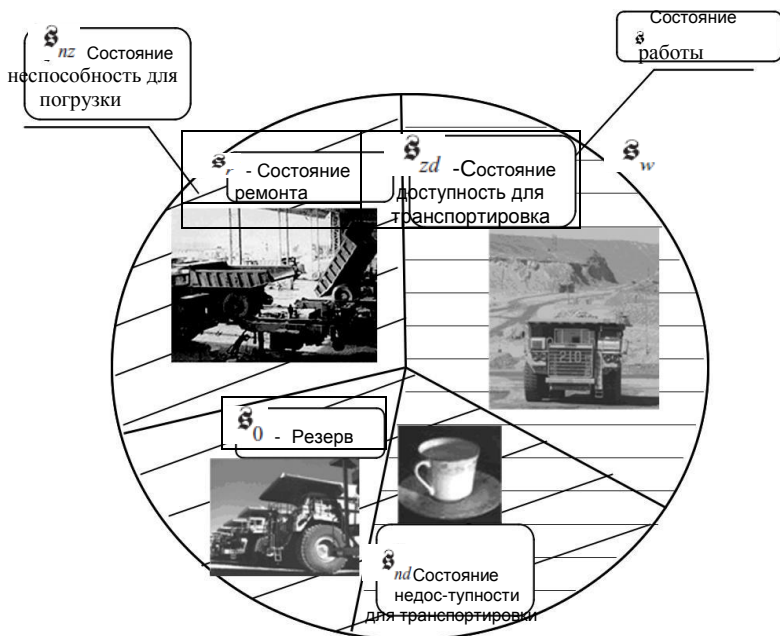


Рисунок 4.7. Состояния эксплуатации грузовика и их взаимоотношения.

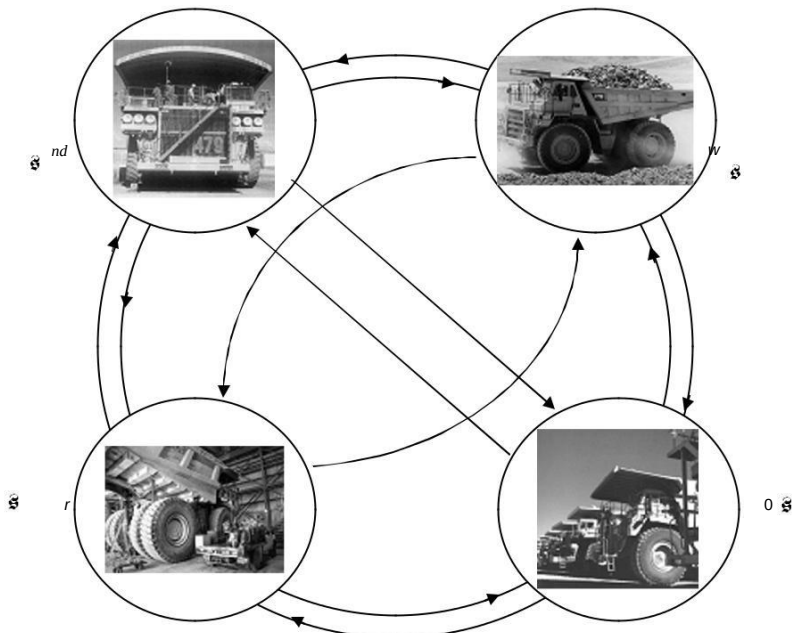


Рисунок 4.8. Граф эксплуатации грузовика с отдельными состояниями (Чаплицкий 2009).

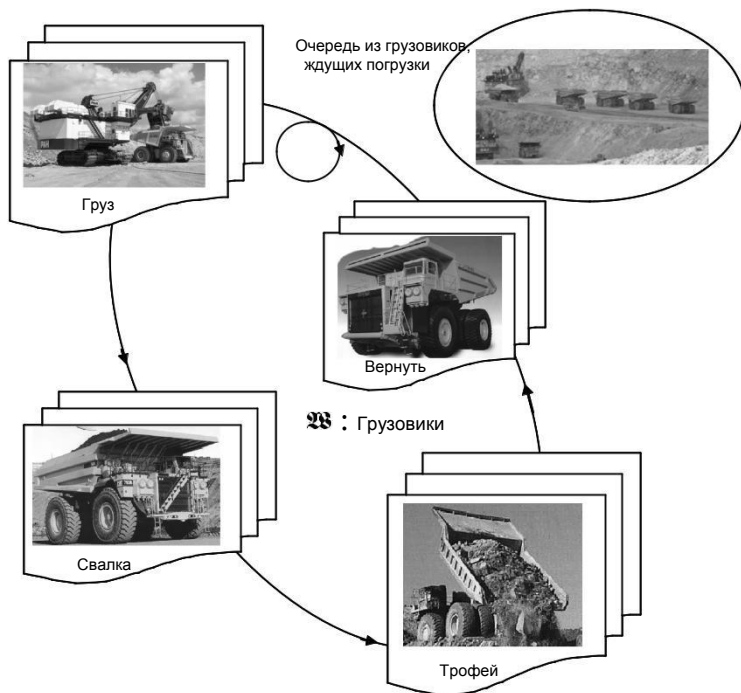


Рисунок 4.9. Операционная схема системы грузовика совка — четыре фазы операции.

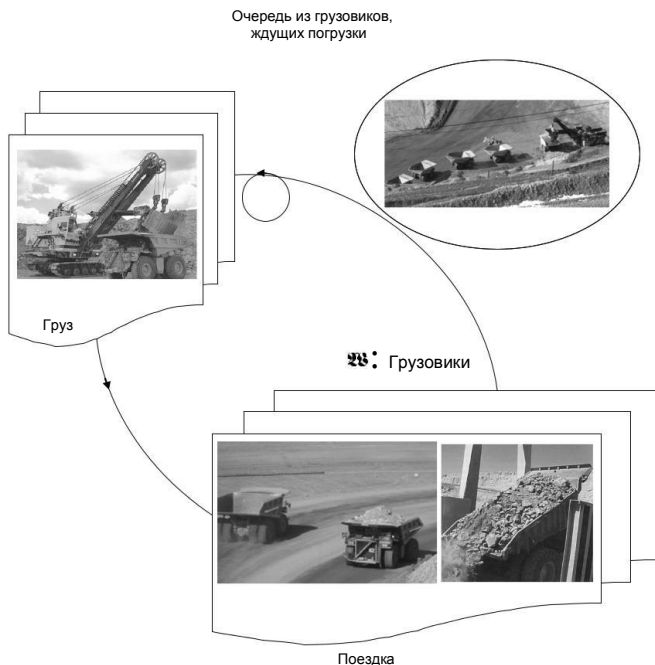


Рисунок 4.10. Операционная схема системы грузовика совка — две фазы операции.

Зная, что аналитическое описание стоящих в очереди систем со многими пунктами возможного возникновения очереди обычно сложное, можно предположить для простоты, что очередь откатчиков произойдет перед ремонтной мастерской и при погрузке машин. Однако есть выбор включать дополнительную очередь в дробилку, например. Это требует применения процедуры 6 ступившей цепи Сначала, очередь в дробилке рассматривают, и ее эффект на удлинение среднего времени цикла работы грузовика оценен. Тогда дальнейшие соображения перемещены к погрузке машин. Здесь короткая очередь желательна, потому что погрузка машин должна работать непрерывно. Снова, эта очередь расширяет средний цикл повременной работы грузовика. Это должно быть принято во внимание. Примеры этого вида процедуры представлены в учебнике (2004b) Чаплицкий.

Грузовик - поддающаяся ремонту машина, и поэтому главная мера по надежности - своя установившаяся доступность. Как мы знаем, есть вероятность, что в любой момент вовремя грузовик имеет работу состояния. Чтобы определить его стоимость, граф эксплуатации от рисунка 4.1 должен быть учтен.

Если нет никакой очереди из неудавшихся грузовиков перед ремонтной мастерской, которая является или количеством стендов ремонта, равно количеству грузовиков в системе или количеству стендов ремонта, меньшее, но достаточно большой, чтобы сделать среднюю длину очереди на грузовик

незначительной (это - рекомендуемый принцип, чтобы решить, что количество ремонта обозначает в ремонтной мастерской данную систему грузовика совка), установившаяся доступность определена известной простой формулой:

$$A_{ts} = A_w = \frac{E(T_p)}{E(T_p) + E(T_n)} = \frac{\eta}{\eta + \varepsilon} \quad (4.3)$$

где:

$E(T_p)$ – ожидаемое среднее время работы грузовика
 $E(T_n)$ – ожидаемое среднее время ремонта грузовика
 A_{ts} – установившаяся доступность грузовика в системе
 A_w – установившаяся доступность грузовика.

Если грузовик работает в системе, и очередь неудавшихся откатчиков, ждущих ремонта, должна быть принята во внимание, формула 4.3 должна быть изменена к:

$$A'_{ts} = \frac{\varepsilon^{-1}}{\varepsilon^{-1} + E(T_{ns})} \quad (4.4)$$

где A'_{ts} называют приспособленной установившейся доступностью, и $E(T_{ns})$ – ожидаемое среднее время неэксплуатационная надёжность грузовика. Среднее время T_{ns} состояние $\mathfrak{S}_{ns}$ является суммой двух компонентов: среднее время грузовика восстанавливает плюс безоговорочное среднее время, проведенное грузовиком в очереди, ждущей ремонта. Для системы грузовика совка, описанной моделью Сивазлиан и Вана G/G/k/r, обе средних ценности определены в Главе 7.2 монографии Чаплицкий (2009).

Последней темой, которая должна быть обсуждена здесь, является уровень установившейся доступности грузовика. Производители грузовиков оценивают свои продукты способом, который отличается от того из пользователей грузовика, но очевидно, что оценка последнего более важна. Кажется, что, следуя за короткой оценкой определение может быть представлено. Это - намек, а не громкое заявление.

Грузовики с установившейся доступностью выше, чем 0,75 могут быть оценены как хорошие. Когда ценность этой меры достигает 0.80, это очень хорошо, и выше 0.85 это превосходно; однако, к сожалению, такие редкие оценки.

Ценности мер по доступности не согласовываются с числом транспортируемых тонн и километры, которые ведут. В течение первых двух или трех лет операции они должны быть относительно стабильными.

⁶Подобная процедура известна в теории прогноза, посмотрите Уолд 1964.

Позже, медленное уменьшение в ценности установившейся доступности может наблюдаться. Для грузовиков низкого качества этот декремент может быть значительным, и это также начинается ранее. Есть много факторов, которые имеют влияние на курс ценностей мер по надежности и доступности, и обычно у менеджеров операционного контроля в шахтах есть хорошая

информация в этом отношении, информация на основе наблюдений за машинами, работающими в их шахтах (см., например, Кроуфорда 1979). Действительно жизненно важно получить эту информацию для данного мой, потому что это тогда принимает во внимание влияние определенных условий эксплуатации, которые существуют в этой шахте на ценностях индексов надежности. Читатели могут получить некоторое представление о том, как большой надёжность влияния ценности индексов имеют на эффективности системы оборудования, и на количестве ремонта стоит требуемый, изучая монографию Чаплицкий (2009).

4.3 ПРОЦЕСС ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВОЙ ЛОПАТЫ

Совки власти как грузовики распространены, и не только в горной промышленности. Они - поправимые объекты, и поэтому их процесс эксплуатации с точки зрения надежности

понят как процесс изменений состояний: работа ($\mathcal{S}_w$) — ремонт ($\mathcal{S}_r$) тип.



Процесс их функционирования более сложен.

Для совков, чтобы выполнить их задачу погрузки важно знать, доступен ли совок для погрузки или нет. Очевидно, что во время погрузки состояния ремонта невозможно. Но есть некоторые периоды во время состояния работы, когда машина в состоянии загрузить, но не делает так, потому что это используется, чтобы провести различную операцию, такую как перемещение в новый пункт погрузки или отодвигание от рабочего лица из-за большого уничтожения. Мы можем сказать, что в этих случаях совок в состоянии недоступности для погрузки (nd). Если мы рассматриваем проблему совка, выполняя задачу погрузки, мы можем смешать это состояние и ремонт в один — состоянии неспособности для погрузки (nz),

$$\mathcal{S}_{nz} = \mathcal{S}_r \cup \mathcal{S}_{nd}$$

Таким образом, репертуар эксплуатации совка власти s и список всех состояний: $\mathfrak{S}$

$$\mathfrak{S}_s: < \mathfrak{s}_w, \mathfrak{s}_r, \mathfrak{s}_{nd}, \mathfrak{s}_{nz}, \mathfrak{s}_{zd} >$$

$\mathfrak{s}_r$ – состояние ремонта

$\mathfrak{s}_{nd}$ – состояние недоступности для погрузки

$\mathfrak{s}_{nz}$ – состояние неспособности для погрузки

$\mathfrak{s}_w$ – состояние работы

$\mathfrak{s}_{zd}$ – состояние способности (и также доступность) для погрузки.

Эти состояния не отделимы. Отношения между состояниями могут быть описаны с точки зрения теории множеств и могут быть представлены как:

$$\mathfrak{s}_r \cup \mathfrak{s}_{nd} = \mathfrak{s}_{nz} \quad \mathfrak{s}_{zd} \cup \mathfrak{s}_{nd} = \mathfrak{s}_w$$

$$\sim \mathfrak{s}_r = \mathfrak{s}_w \quad \sim \mathfrak{s}_w = \mathfrak{s}_r$$

$$\mathfrak{s}_{zd} = \sim(\mathfrak{s}_r \cup \mathfrak{s}_{nd}) \quad \mathfrak{s}_r \cup \mathfrak{s}_w = \mathfrak{s}_{nz} \cup \mathfrak{s}_{zd}$$

В графической форме они могут быть иллюстрированы как показано на рисунке 4.11.

Кажется на первый взгляд, что перечислены все возможные состояния совка. Однако это не верно. Одно нежелательное состояние, вероятно, произойдет, когда совок начнет работать в тандеме с помощью перевозки, это - когда это становится элементом конкретной системы. Это состояние - состояние бездействия s —, когда машина ждет праздно грузовика. Совок находится в

состоянии работы (состояние надежности) и также в состоянии доступности для погрузки (состояние эксплуатации), но это не загружает из-за отсутствия машины транспортировки. Частота возникновения этого состояния зависит от организации целой системы оборудования, ряда элементов конкретного типа в

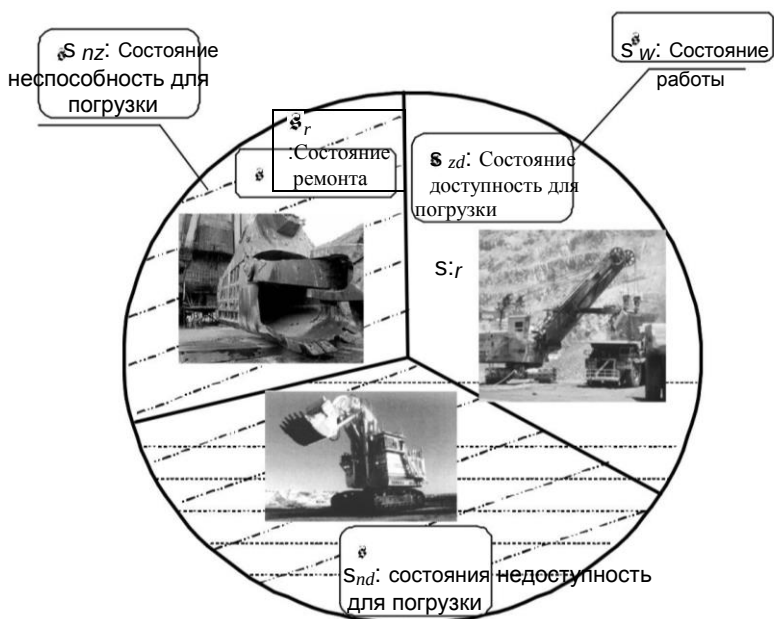
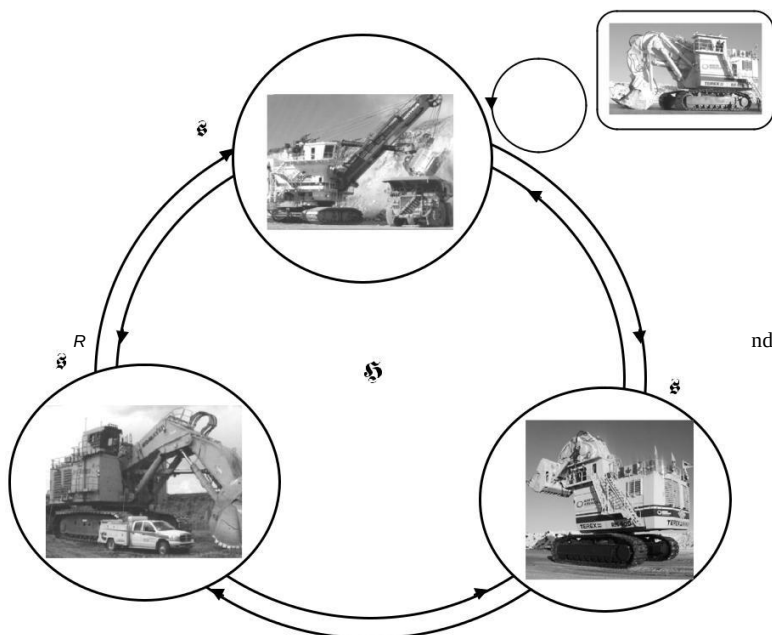


Рисунок 4.11. Состояния эксплуатации совка и их взаимоотношения.



Не грузовики

Рисунок 4.12. Процесс изменений состояний совка в форме графа: доступность для погрузки — ремонта — недоступность для погрузки.

система, их надёжность и геологические и добывающие условия шахты. Таким образом граф эксплуатации для совка может быть изображен как на рисунке 4.12.

Цикл работы совка выражения также жизненно важен. Это - мера действий совка, сделанных вовремя, которые связаны с погрузкой, действиями, которые периодически повторяются.

В системе погрузки машинных совков запчасти не существуют. Они слишком дорогостоящие, особенно огромные единицы. Они должны управлять 24 часами в день, 7 днями в неделю. Однако, если один из совков силы погрузки, работающих в открытой яме или в большой системе оборудования этого вида, терпит неудачу, это начинает приводить к убыткам мое производство. Поэтому запасные машины погрузки сохранены шахтами, и как правило запасные колесные автопогрузчики сохранены. Изменения в системных параметрах оборудования и улучшенной надежности системы, которая следует из существования запасных единиц погрузки, обсуждены в Главе 12 монографии Чаплицкий (2009). Метод вычисления эффективности системы оборудования также дан.

Совки власти - машины со сложным строительством, однако проектировщики ввели несколько видов увольнений в их структуру, которые значительно улучшили их доступность. Это может быть предположено (Смысл 1968, Кроуфорд 1979, Чаплицкий и Теменг 1989, Сарджент 1990), что установившаяся доступность к машинам хорошего качества 0.80 и выше, и иногда даже превышает 0.90 (превосходная доступность). Единицы ниже 0.75 могут быть оценены как машины низкой установившейся доступности.

4.4 ПРОЦЕССЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЙ ШАХТЫ И ШАТТЛ-АВТОМОБИЛЯ

Установив основные идеи о строительстве процессов эксплуатации для различных частей мое оборудование, давайте добавим короткое, немного упрощенное соображение для процессов непрерывного шахтера и автомобиля шаттла. Эти две машины сотрудничают друг с другом.

Рассмотрите систему, состоящую из определенного числа непрерывных шахтеров, действующих на производственном уровне и определенном числе автомобилей шаттла, буксирующих извлеченный уголь и служащих машинам победы. Этот тип системы находится в частом употреблении в подземной угольной промышленности в США.

Эта система состоит из двух подсистемы:

- завоевание машин
- перевозка машин.

Первая подсистема (а) составлена из, скажем, n извлечение машин, работающих параллельно, который является друг независимо от друга. Мы можем предположить заранее, что все машины идентичны, таким образом, поэтому их технические параметры и параметры эксплуатации отличаются только случайным способом. С эксплуатационной точки зрения два параметра являются самыми важными: установившаяся доступность A_{cm} и коэффициент доступности B_{cm} . Зная, что состояния работы и ремонта независимы друг от друга, мы можем определить основную функцию надежности, которая является распределением вероятности количества машин в состоянии доступности, чтобы быть в состоянии выполнить их обязанности. Этим распределением дают:

$$P_d^{(zd)} = \binom{n}{d} G_{cm}^d (1 - G_{cm})^{n-d} \quad d = 1, 2, \dots, n \quad G_{cm} = A_{cm} B_{cm}$$

где $P_d^{(zd)}$ является вероятностью, что d машины в состоянии доступности, чтобы быть в состоянии выполнить их обязанности, который является d машинами, в состоянии выполнить их задачу. Для больше на системе машин, работающих в параллельно⁷, см. Главу 6.

Давайте теперь посмотрим на единственную непрерывную операцию шахтера. Его цикл постоянной работы состоит из двух альтернативных фаз: **погрузка** (L) и **ожидание**. Вторая фаза - сумма двух этапов: непрерывный шахтер ждет (1), потому что полный автомобиль шаттла, просто загруженный, переезжает к точке перехода плюс непрерывный шахтер, ждет (2), потому что пустой автомобиль шаттла приближается к машине победы, когда свободный путь был сделан полным откатчиком; автомобильные шаги от точки перехода до непрерывного шахтера (только один автомобиль может быть в машине победы в любой момент). Если мы хотели бы построить репертуар эксплуатации для шахтера, три дополнительных состояния должны быть приняты во внимание.

Во-первых, будет несколько промежутков времени, когда машина будет в состоянии выполнить свои обязанности (который находится в состоянии), но завоевание действия не выполняется, потому что что-то произошло в рабочей зоне, или некоторые различные действия делаются в этой области и, поэтому, извлечение остановлено. Обозначьте это состояние как **бездействие**. Следующее состояние, которое должно быть перечислено, является состоянием **безделья** непрерывный шахтер находится в, состояние и извлечение могут быть сделаны, но нет никакого автомобиля шаттла, чтобы загрузить. Очевидно, это - нежелательное состояние, но, откровенно говоря, неизбежный на практике. Проблема состоит в том, чтобы уменьшить частоту возникновения этого состояния и время, проведенное в нем. Возникновение состояния безделья может быть произведено: – неудача в различной единице среди автомобилей шаттла, служащих данному непрерывному шахтеру; неудача, которая затрудняет поток автомобилей в течение определенного

периода времени – нехватка автомобилей, потому что единица перевозки находится в ремонте – возникновение задержки указывает во время путешествия на автомобиле шаттла.

Очевидно, стохастическая природа процесса операции системы может произвести состояние безделья также.

С точки зрения надежности нет никакого различия между состоянием бездействия и состоянием безделья, потому что в обоих состояниях интенсивность отказов машины незначительна и, как могут предполагать, является нулем. С другой стороны, с эксплуатационной точки зрения, состояние бездействия должно существовать

- Заметьте, что эксплуатация непрерывных шахтеров параллельно, но шахтер может служить двум машинам. Иногда он может идти с недавно законченного сокращения на следующую машину, которая установлена до моего следующее сокращение. Между прочим, это гуляющее время должно быть включено в оценку эффективности системы.

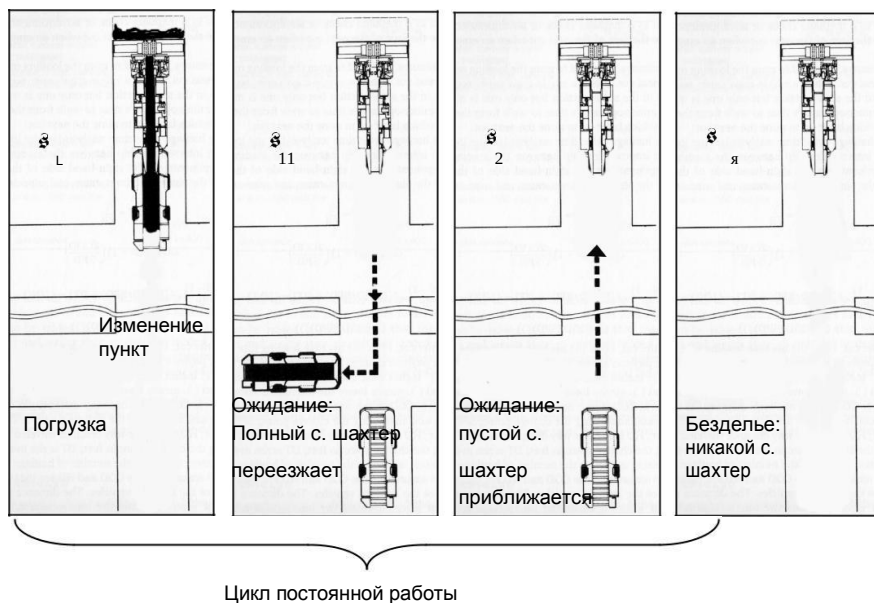


Рисунок 4.13. Состояния эксплуатации непрерывного шахтера в указывают; состояние бездействия $\varnothing$ исключено.

из-за последовательности элементарных операций, тогда как состояния безделья нужно избежать. Его возникновение означает потери.

Все они выше состояний, иллюстрированных на рисунке 4.13.

Последнее состояние, которое должно быть принято во внимание, является состоянием **ремонта**. Неудачи иногда происходят в машине и поэтому вниз, состояние неизбежно. Мы пренебрегаем здесь случаем, где непрерывный

шахтер находится в неудаче, и необходимо ждать запасной части в течение нескольких дней (если такая ситуация происходит, это означает, что у нас есть новое состояние).

Таким образом, репертуар эксплуатации $\mathcal{G}_{cm}$ из непрерывного шахтера в общем случае может быть определен как:

$$cm: < L, 1, 2, \mathcal{G}_s, \text{я}, \mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2, \mathcal{G}_3, \mathcal{G}_4, \mathcal{G}_5, \mathcal{G}_6, \mathcal{G}_7, \mathcal{G}_8, \mathcal{G}_9, \mathcal{G}_{10} \rangle$$

Возможные переходы между этими состояниями показывают на рисунке 4.14. Состояния цикла постоянной работы машины обозначены треугольником.

Позвольте нам делать немного кратких комментариев.

С точки зрения надежности у безделья состояний $(\mathcal{G}_1)$, ожидая $(\mathcal{G}_1 \cup \mathcal{G}_2)$ и $(\mathcal{G}_s)$ бездействие есть то же значение — интенсивность машинных отказов пустая.

Когда непрерывный шахтер выполняет его обязанности, который извлекает и загружает (указывают) $_L$, это может потерпеть неудачу — интенсивность неудач положительная.

Времена непрерывного цикла работы шахтера без любых потерь, который является $(L \rightarrow_1 \rightarrow_2)$ могут быть удовлетворительно описаны Гауссовским распределением вероятности.

Большинство ремонта непрерывного шахтера вовлекает регенерацию в процесс эксплуатации целой системы оборудования.

Не забудьте учитывать то, что после определенного периода времени сокращение закончено, и горная промышленность будет перезапущена после того, как необходимые и соответствующие действия горной промышленности выполнены.

Это последнее замечание значительное. Это означает, что процесс эксплуатации непрерывного шахтера может быть идентифицирован как неустойчивый вероятностный процесс, подобный процессу, связанному с подъемами шахты, например. Когда сокращение закончено, процесс эксплуатации машины извлечения закончен

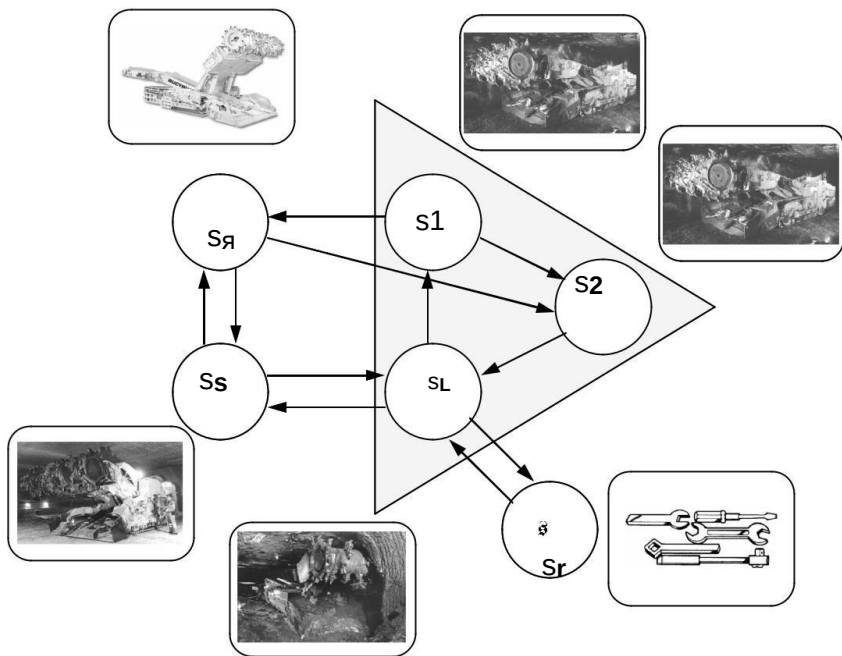


Рисунок 4.14. График эксплуатации комбайна непрерывного действия

в настоящее время и процесс восстанавливает себя. Простой непосредственный вывод может быть сделан — у процесса эксплуатации автомобиля шаттла также есть неустойчивый характер с регенерацией.

Давайте посмотрим теперь на единственный автомобиль шаттла. Обычно его регулярные обязанности состоят из четырех этапов, повторенных циклически подобный тому из большинства откатчиков, а именно: груз — трофей — свалка — возвращение. Однако желательно посмотреть на этот цикл работы более внимательно.

Давайте начнем с фазы погрузки. Следующий шаг - отказ в полной машине из рабочей области лица и перевозки груза к пункту демпинга через точку перехода (СР). Но теперь, в отличие от предыдущей машины, не необходимо отличить этот пункт во время фазы, которую рассматривают. Перевозку нужно рассматривать как одну фазу. Следующая фаза, очевидно, разгружается, и впоследствии она идет возвращение к машине, но только до точки перехода. Теперь, важно различить этот факт. В зависимости от размера системы, но довольно часто незадолго до этого пункта, машина будет ждать свободного прохода, чтобы присоединиться к непрерывному шахтеру. Заметьте, ситуация здесь немного отличается от большинства систем типа откатчика погрузчика. В системе грузовика совка, например, очередь самосвалов сформирована в

машине погрузки. В случае, проанализированном, очередь откатчиков может быть сформирована перед точкой перехода. Таким образом похоже, что эксплуатация автомобиля шаттла может быть представлена в графической форме как показано на рисунке 4.15.

Репертуар эксплуатации для этой машины состоит из 8 состояний:

$$: < \textcircled{L} \textcircled{r} \textcircled{h} \textcircled{u} \textcircled{3} \textcircled{d} \textcircled{4} \textcircled{5} >$$

где все состояния объяснены на рисунке 4.15 за исключением состояния *r* ремонта автомобиля.

Рассмотрение рисунка 4.15, легко прийти к заключению, что цикл повременной работы автомобиля шаттла *T_c* является суммой следующие компоненты:

$$T_c = T_l + T_h + T_u + T_3 + T_{CP} + pT_{dd} + pT_{w4} \tag{4.5}$$

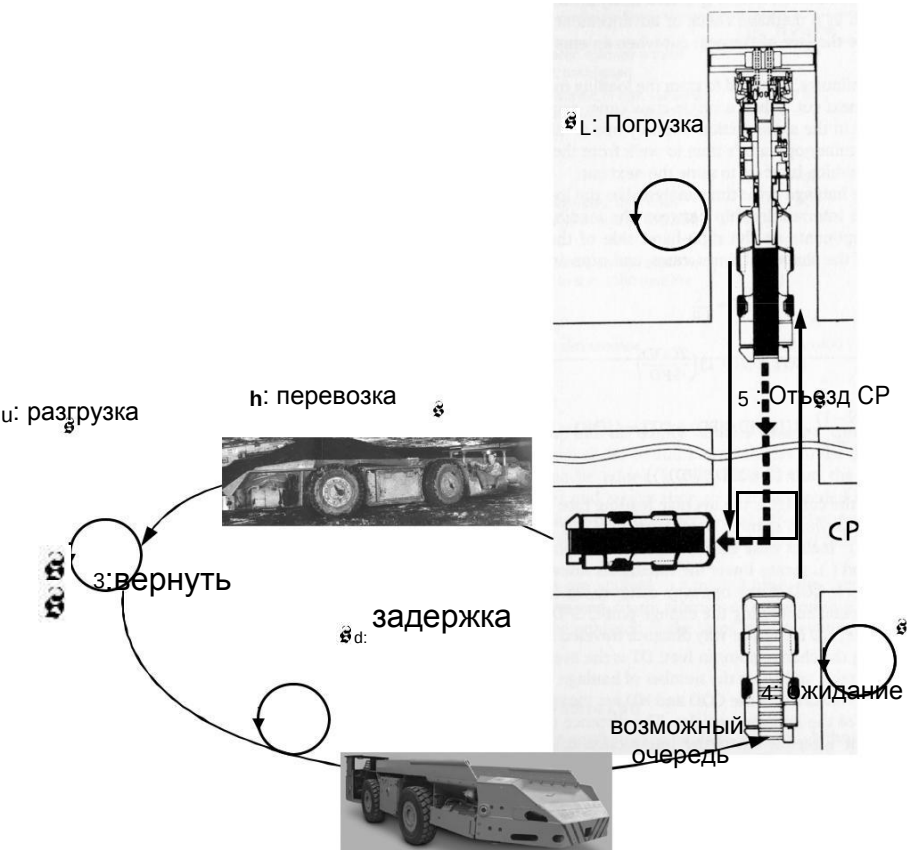


Рисунок 4.15. Операционная схема автомобиля шаттла.

где:

T_l – время погрузки

T_h – перевозка времени

T_u – время разгрузки

T_3 – время возвращения из демпинга указывает на точку перехода

T_{cp} – время трамвая от точки перехода до лица

T_d – время задержки

p_d – вероятность, что напрасно тратить время произойдет во время цикла работы

T_4 – время ожидания в точке перехода

P_w – вероятность, что время ожидания произойдет во время цикла работы.

Некоторые объяснения, связанные с этими параметрами, необходимы.

Давайте начнем наше обсуждение из общего утверждения, что цикл повременной работы автомобиля шаттла - случайная переменная, которая является суммой нескольких различных случайных переменных; у двух из них есть своя собственная вероятность возникновения. Давайте проанализируем компоненты суммы.

Время погрузки. У этой случайной переменной есть распределение вероятности, форма которого - симметричная форма звонка, подобная нормальному распределению. Кроме того, это распределение двухстороннее усеченный. Усечение левой стороны ясно определено на нуле, но усечение правой стороны трудно определить недвусмысленно. Если дисперсия этой переменной относительно низкая (это обычно держится на практике), регулярное Гауссовское распределение может быть применено.

Перевозка времени от машины победы до разгружающегося пункта. Это - однородная случайная переменная; его распределение вероятности - симметричная форма звонка, подобная нормальному распределению. Очевидно, это распределение двухстороннее усеченный; однако, усечение правой стороны снова трудно оценить точно. Усечение левой стороны — на нуле — обычно не так важно, потому что масса вероятности отказана от пункта начала. Это распределение может быть приближено Гауссовской функцией.

Время разгрузки. Эта случайная переменная снова подобна нормальному распределению. Это может быть приближено этим типом функции.

Время возвращения из демпинга указывает на точку перехода. У этой случайной переменной есть идентичный характер ко времени перевозки от точки перехода до пункта демпинга.

Иногда состояние d может произойти связанное со временем задержки. Мы пренебрегаем здесь проблемой автомобильных неудач (состояние ремонта). Это часто происходит, что цикл работы автомобиля нарушен разными факторами (Глава 9 Бизы 2003 года). Все события, производящие автомобильное прекращение в течении определенного периода времени или вызывающие скорость движения автомобиля быть уменьшенными, увеличивают время цикла работы. Здесь две проблемы должны быть приняты во внимание. Во-первых, часто автомобильный цикл выполнен без любого

волнения, но во время некоторых других беспорядков циклов происходят, и время цикла работы длится дольше. Таким образом необходимо оценить вероятность возникновения нарушенного цикла p_d — вероятность, что напрасно тратить время произойдет во время цикла работы. Во-вторых, мы должны добавить это удлинение ко времени цикла — время полной задержки во время цикла работы. Оценка вероятности p_d проста, если есть некоторые данные об эксплуатации под рукой, но важная проблема - идентификация распределения вероятности, которое может быть связано с этим временем задержки. Не имея никакой оперативной информации по этой проблеме, мы можем рассмотреть эту проблему, смотря на него с теоретической точки зрения. Выглядит, как будто очень часто время задержки будет коротко, редко будет это быть длинным. Таким образом кажется, что правильное суждение может быть применением показательного распределения.

После прибытия пустого автомобиля шаттла к точке перехода ситуация с эксплуатацией может быть двойной: или непрерывный шахтер свободен и нет никакого другого автомобиля шаттла в рабочей зоне или нет никакого способа приблизиться к непрерывному шахтеру, потому что эта область занята. Вероятность каждого события должна быть оценена, и поэтому у нас есть вероятность p_w в образце, который является вероятностью, что время ожидания произойдет во время цикла работы автомобиля. Подобный предыдущему рассуждению, нам нужна информация о распределении вероятности времени ожидания.

Последнее состояние, которое обсудит, является временем трамвая от точки перехода до лица. Это время обычно коротко, его изменение не настолько большое, и даже соответствующее распределение вероятности может быть принято как униформа, поддержанная на определенном временном интервале. Однако, чтобы сделать наш анализ более практичным и упрощенным, можно предположить, что это распределение вероятности нормально.

Если мы смотрим на цикл работы автомобиля шаттла более глубокомысленно, мы можем прийти к выводу, что *чувствительный пункт* - точка перехода, и целое расследование машинного цикла работы должно быть сосредоточено по этому вопросу. Таким образом последовательность цикласостояний без любых потерь:

$$\bar{s}_5 \rightarrow \bar{s}_L \rightarrow \bar{s}_h \rightarrow \bar{s}_u \rightarrow \bar{s}_3$$

Рассмотрите формулу 4.5. Если предполагается, что времена, которые являются компонентами правой стороны уравнения, являются средними, левая сторона уравнения определяет среднее время цикла работы автомобиля шаттла. Иначе правая сторона уравнения показывает сумму семи случайных переменных, что означает, что левая сторона уравнения также определяет случайную переменную. Вопрос теперь: что мы можем сказать о распределении вероятности этой случайной переменной?

Попытайтесь использовать знание о распределениях вероятности компонентов суммы. У первых пяти случайных переменных есть распределения вероятности нормального типа, таким образом их суммы - случайные переменные, также имеющие нормальное распределение вероятности соответственно определенных параметров. Следующий компонент - случайная переменная показательного распределения.

Давайте перепишем формулу 4.5 в следующей форме:

$$T = {}_c T_n + pT_{dd} + pT_{w4}$$

где T_n - нормальная случайная переменная среднего, которое является суммой всех средних значений всех пяти раз (T_l , T_h , T_u , T_z , T_{CF}), и различие, которое является суммой всех различий. Давайте обозначим плотность распределения вероятности этой переменной $f_n(t)$.

Если следующий компонент суммы добавлен к переменной T_n , компонент, по экспоненте распределенный и взвешенный вероятностью p_d плотности распределения вероятности:

$$f_d(t) = \frac{\Phi}{p_d} e^{-\frac{\Phi}{p_d} t} \quad (4.6)$$

тогда плотность распределения вероятности этой суммы определена:

$$f_s(t) = \int_0^{\infty} f_d(t-y) f_n(y) dy \quad (4.7)$$

при условии, что нормальная составляющая функция определена по положительному интервалу только.

Трудно показать эту функцию в явной форме. Однако на практике эта дополнительная случайная переменная делает определенное маленькое смещение далеко от нуля массы вероятности определенным $f_n(t)$ — видят рисунок 4.16, в котором предполагалось долгое время прохождения. Этот факт маленького смещения будет полезен в дальнейшем анализе.

Последний компонент, который определит, является временем ожидания в точке перехода. Эта случайная переменная - функция следующих компонентов:

- надёжность оборудования включена
- число откатчиков раньше служило автомобилю шаттла
- времена фаз цикла работы автомобиля шаттла.

Для данной системы оборудования может быть собран образец, и распределение вероятности интереса может быть определено. Однако, когда работы запланированы на данной производственной зоне, необходимо оценить систему, которая будет использоваться в этой области и количестве машин, которые будут в действии.

Мы можем посмотреть на систему непрерывного шахтера и автомобилей шаттла как циклическая система, и мы можем попытаться описать ее действие,

использовав одну из моделей, взятых из теории очереди (см. Главу 8). Прежде, чем начать искать соответствующую модель важно помнить что:

- есть только один сервисный центр (загружающий машину) в этой системе
- очередь из автомобилей сформирована, стоя перед точкой перехода, и длина очереди ограничена

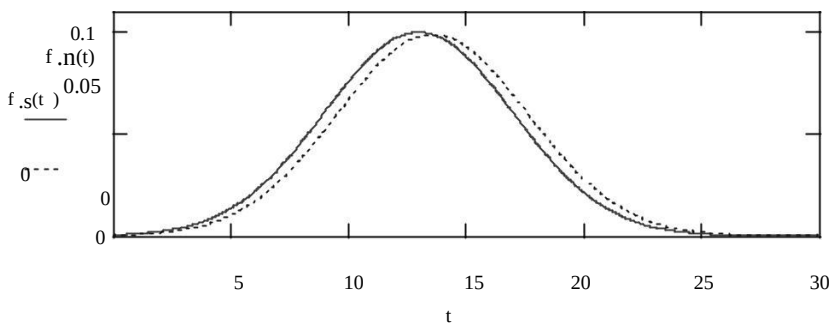


Рисунок 4.16. Курс в качестве примера плотностей распределения вероятности: $f_n(t)$ и $f_s(t)$.

- машины загружены в последовательности их прибытия
- автомобильная ремонтная мастерская шаттла имеет ограниченную возможность, однако число откатчиков, чтобы восстановить относительно маленькое
- нет никаких запасных машин перевозки
- автомобилями шаттла управляют электрически через силовой кабель, и это должно иметься в виду, потому что он имеет влияние на последовательность их элементарных действий
- работающие от аккумулятора и дизельные резиновые транспортные средства перевозки шины не ограничены в их движении.

У этих особенностей циклической системы шахты должны быть свои соответствующие особенности в отобранной модели. Применяя *хорошую* модель, информация о распределении вероятности количества машин, ждущих погрузки, может быть получена. Ситуация более практична здесь, чем для больших систем оборудования этого вида в горной промышленности поверхности, потому что есть только один сервисный центр (для многих сервисных центров данной циклической системы, у нас только есть информация о средних особенностях). Зная это распределение мы можем преобразовать его в распределение вероятности времени ожидания в очереди.

В самом начале расследования в этом разделе (Глава 4.4) было указано, что анализ должен был быть упрощен. Два вопроса не были обсуждены.

Во-первых, в рассуждении связанного с тем, что с автомобилями шаттла иногда ситуация происходит, в котором данный автомобиль предписан к следующему сокращению служить различному непрерывному шахтеру. Это не было принято во внимание.

Во-вторых, некоторые системы оборудования этого вида могут быть уменьшены, когда сокращение, которое будет добыто, около входа пояса. Для такого случая перевозка 'система' может состоять из два (или даже один), автомобили и элементные проехавшие расстояния очень коротки.

Давайте построим — в конце этих расследований — граф эксплуатации для автомобиля шаттла в общем случае. Это показывают на рисунке 4.17. Анализируя граф эксплуатации, представленный на рисунке 4.14 и графе на рисунке 4.17, и определявший меры, описывающие переходы между состояниями, несколько существенных особенностей эксплуатации этих машин могут быть построены

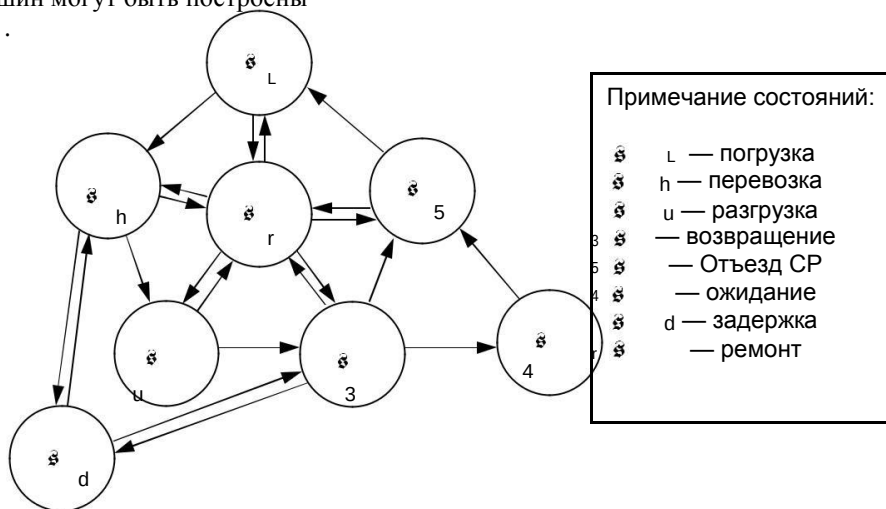


Рисунок 4.17. Автомобильный граф эксплуатации шаттла.

ГЛАВА 5

Модели надежности, применяемые для одной единицы оборудования

Как был указан, добытие разработки развертывает широкий спектр различных технических объектов различного строительства, которое применено в разнообразных целях. По этим причинам используется большое множество моделей надежности. Однако у некоторых моделей есть общее применение.

В этой главе три модели надежности мое оборудование будет представлено, покрывая оборудование, которое находится в широком употреблении в горной промышленности. Модели покрывают конвейеры пояса, спускоподъемные установки и главные веревки подъема. Однако модели, представленные в связи с этими единицами, могут также быть применены, чтобы описать надёжность различных частей мое оборудование. Легко признать, что первые два - поддающиеся ремонту объекты, тогда как главные веревки неподдающиеся ремонту.

5.1 ЛЕНТОЧНЫЕ КОНВЕЙЕРЫ

Есть некоторые элементы оборудования, которые в большой степени используются в горной промышленности, и в метрополитене и в карьерах. Нет сомнения, что в дополнение к погрузчикам и грузовикам, конвейеры пояса могут быть посчитаны в этом классе объектов. Их 'популярность' непосредственно связана с их широким спектром достоинств. Главные - небольшая поперечная область раздела, низкое сопротивление, чтобы двинуться, электрическая движущая сила, возможность автоматизации, очень высокой производительности, низких эксплуатационных расходов, высокой безопасности, легкого строительства и обычно очень высокой надежности единственной единицы.



Нужно добавить, что приблизительно 80% энергии, расходуемой обычным конвейером, используются, чтобы переместить материал, транспортируемый, и только 20% используются, чтобы преодолеть сопротивление, чтобы двинуться. Для сравнения карьерный самосвал, например, потребляет почти 60% своей энергии переместить себя — таким образом, конвейер пояса - действительно ценный средний транспорт. Его главные слабые места связаны с самим поясом: это очень дорого и чувствительно к свойствам транспортируемой большой части. Эти недостатки уменьшают применение этого типа конвейера. Конвейеры пояса - также элементы некоторых составных машин, используемых в горной промышленности, такие как роторные экскаваторы, экскаваторы цепи ведра, накопители, и т.д. Поэтому в некоторых случаях у них есть трудные условия эксплуатации — например, в получении недавно выкопанного и извлеченного потока скалы. Интенсивность отказов этих 'составных' конвейеров значительно выше (Эйкен 1996, Вольский и Голосинский 1986), чем интенсивность отказов конвейеров, действующих в ряду в качестве главной системы перевозки и в метрополитене и в карьерах.

Обычный конвейер пояса обычно управляет 24 часами, в день несущими извлеченную скалу. Это все еще находится в движении, даже когда поток буксируемой большой части является полем во время определенного периода времени. В большинстве случаев редко происходят неудачи — они настолько же низкие как приблизительно несколько раз в год в среднем. Поэтому есть две модели надежности, используемые, чтобы описать операцию этих единиц с точки зрения надежности. Они - поток модели неудач и процесс изменений состояний типа ремонта работы.

5.1.1 Поток модели неудач

Рабочее время между двумя соседними отказами конвейеров пояса обычно очень длинно. Время ремонта, по сравнению с рабочим временем, довольно коротко, как правило. Поэтому, если времена ремонта конвейера не важны в данном расследовании, ими можно пренебречь. Можно также предположить, что после ремонта единица совсем как нова. Процесс эксплуатации объекта с точки зрения надежности следующие.

В определенный момент вовремя, конвейер начинает свои обязанности. После времени t_1 работы происходит неудача. Это первое рабочее время - t_{p1} , $t_{p1} \equiv t_1$. Возобновление мгновенно в этой модели, и предполагается, что ее длина - ноль. Конвейер начинает свои обязанности во второй раз. Вовремя t_2 , $t >_2 t_1$, новая неудача происходит. Рабочее время между первой неудачей и второй - t_{p2} , $t_{p2} = t - t_{21}$. Конвейер снова начинает работать. Можно предположить, что у случайных переменных t_{p1} , t_{p2} , ... есть те же распределения вероятности. Давайте обозначим это $F(t)$ и очевидно:

$$F(t) = P\{t_{pn} < t\}.$$

Моменты возникновения неудачи (см. рисунок 5.1):

$$t_1 = t_{p1}, \quad t_2 = t_{p1} + t_{p2}, \dots, t_n = \sum_{i=1}^n t_{pi}$$

Они иллюстрируют вероятностный процесс, названный потоком неудач (Смит 1958, Гньеденко и др. 1965).

Обычно, представляющий интерес основной момент для этого потока - случайная переменная $v(t)$ — количество неудач, которые произошли до момента t , $t_{v(t)} \leq t < t_{v(t)+1}$. Легко видеть, что следующие уравнения держатся:

$$P\{v(t) \geq n\} = P\{t_n < t\} = P\{t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + \dots + t_{pn}\} = F_n(t) \quad (5.1)$$

$$F_n(t) = \int_0^t F_{n-1}(t - t_w) dF(t_w) \quad F_1(t) = F(t) \quad (5.2)$$

$$P_n(t) = P\{v(t) = n\} = F_n(t) - F_{n+1}(t) \quad P_0(t) = 1 - F(t) \quad (5.3)$$

Эти уравнения определяют случайную переменную $v(t)$ хорошо. Очень важная статистическая функция, которая имеет большую ценность на практике, является функцией возобновления $H(t)$, который определяет ожидаемое количество неудач до момента t . Это может легко быть доказано (см., например, Гньеденко и др. 1965), это

- Если у вероятностного процесса есть непрерывный параметр, скажем, время и дискретное пространство событий (здесь неудачи), такой процесс называют стохастическим потоком.

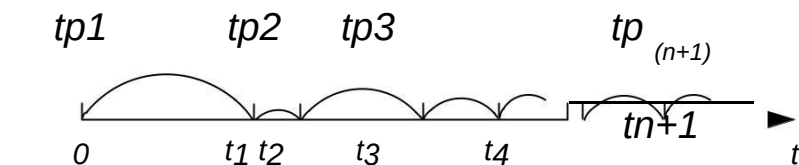


Рисунок 5.1. Поток неудач.

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) \quad (5.4)$$

Нужно добавить, что все основные вероятностные особенности потока выражены посредством этой функции. Например, различие количества неудач до момента t дано формулой:

$$\sigma^2[\nu(t)] = 2 \int_0^t H(t-t_p) dH(t_p) + H(t) - H^2(t) \quad (5.5)$$

Среднее количество отказов за промежутков времени (t_1, t_2) , очевидно,

$$\bar{\nu}(t_2, t_1) = H(t_2) - H(t_1) \quad (5.6)$$

Для исследователей надежности, которым интересно, функция, вызванная плотность возобновления $h(t)$, определена уравнением:

$$h(t) = H'(t)$$

который приводит к следующим уравнениям:

$$h(t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \quad f_n(t) = F_n'(t) \quad (5.7)$$

Этот способ смоделировать хорош, если процесс эксплуатации объекта характеризуется редко неудачами, что означает, что объект имеет высокую надёжность. Таким образом во многих случаях эта модель применена, чтобы исследовать ряд отказов кабельных конвейеров пояса. Этот подход моделирования также превосходен, когда редкие случаи наблюдаются, такие как катастрофические или потенциально катастрофические события, и предмет интереса - ряд единственных единиц, работающих параллельно. В конце 1970-х эта модель была применена, чтобы описать серию вовлечения катастрофических событий спускоподъемные установки в польской горнодобывающей промышленности (Чаплицкий и Лутыньский 1976).

С теоретической точки зрения скручивание функций $F(t)$ может только быть выражено в явной форме в нескольких случаях. К счастью, во всех вышеупомянутых случаях показательные распределения применены, и у всех функций, связанных со стохастическим потоком, есть точная открытая форма.

Таким образом, если $(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

Главные функции определены уравнениями:

$$P_n(t) = P\{\nu(t) = n\} = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (5.8)$$

$$H(t) = \lambda t \quad h(t) = \lambda$$

Среди всего ряда неудач только вышеупомянутый процесс, названный процессом Пуассона, является постоянным и является безымянный.²

Иногда интересное место - только конкретный тип неудачи. В таких различных типах случая неудач пренебрегаются. Эти неудачи - 'фиктивные' неудачи. Новая случайная переменная появляется в этой проблеме — номер w фиктивных неудач до момента возникновения конкретной неудачи.

Обычно сумма w случайных переменных, по экспоненте распределенных с параметром λ , имеет распределение Эрланг приказа w , для которого плотностью распределения вероятности дают:

$$f(t) = \frac{\lambda^w t^{w-1}}{(w-1)!} e^{-\lambda t} \quad (5.9)$$

В случае, который рассматривают параметром, w , $w \in \mathfrak{N}$, является случайной переменной определенного распределения $p(w)$. Чтобы получить безоговорочную функцию вероятности, необходимо вычислить:

$$g(t) = e^{-\lambda t} \sum_w \frac{\lambda^w t^{w-1}}{(w-1)!} p(w) \quad (5.10)$$

Легко заметить, что с теоретической точки зрения проблемой нахождения плотности распределения вероятности является тривиальная. С другой стороны с практической точки зрения это - серьезная проблема. Чтобы оценить функцию $p(w)$, данные необходимы, который на практике означает, что данный конвейер должен управляться в течение очень долгого времени (много лет), чтобы наблюдать соответствующее количество неудач данного типа. Во многих случаях нет никакого способа выполнить это условие, поскольку системы шахты не работают в течение такого долгого времени. Поэтому вместо функции $p(w)$ соответствующее математическое ожидание принят во внимание. Данные, собранные, чтобы оценить это среднее значение, основаны на записи чисел отказов нескольких конвейеров. Очевидно, их процессы эксплуатации должны быть гомогенными.

Поскольку функция возобновления $H(t)$ очень важна для вычислений надежности, выгодно иметь некоторые приближения этой функции.

- Если функция распределения вероятности $F(t)$ известна, то:

$$F(t) \leq H(t) \leq \frac{F(t)}{1 - F(t)} \quad (5.11)$$

- Если среднее время работы T_p известно, то:

$$\frac{t}{T_p} - 1 \leq H(t) \leq \frac{t}{T_p} \quad (5.12)$$

- Для длительное время t :

$$H(t) \approx \frac{t}{T_p} + \frac{\sigma_p^2}{2T_p^2} - \frac{1}{2} \quad (5.13)$$

- где σ_p^2 - это разница во времени работы.

• Процесс не запоминается, если вероятность возникновения k сбоев в интервале $(T, T + t)$ не зависит от того, сколько сбоев и каким образом они произошли до момента T (Гньеденко и Коваленко 1966).

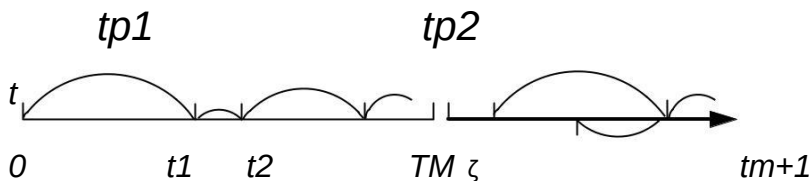


Рисунок 5.2.

Поток неудач и остаточное рабочее время.

Информация, что у случайной переменной $v(t)$ есть асимптотически нормальное распределение³, имеет практическое применение:

$$N\left(\frac{t}{T_p}, \sqrt{\frac{\sigma_p^2 t}{T_p^3}}\right) \quad (5.14)$$

и оценка количества неудач по долговременному интервалу может быть сделана. Для большого t держится следующее уравнение:

$$P\left\{\frac{t}{T_p} - u_{\alpha/2} \frac{\sigma_p \sqrt{t}}{T_p^{3/2}} < v(t) < \frac{t}{T_p} + u_{\alpha/2} \frac{\sigma_p \sqrt{t}}{T_p^{3/2}}\right\} = 1 - \alpha \quad (5.15)$$

где u_{α} - квантиль заказа α стандартизованного нормального распределения.

Одна оценка стороны может также быть сделана, соответственно изменив неравенство в скобках. Для некоторых технических объектов, для которых процесс эксплуатации описан серией, терпят неудачу -

мочевины, интересная особенность - остаточное рабочее время ζ (см. рисунок 5.2). Если процесс эксплуатации переезжает определенный период времени, и объект находится в состоянии в конкретный момент времени, то интересное место - остающееся рабочее время до самого близкого возникновения неудачи. Обычно эта особенность касается процесса эксплуатации объекта после долгого времени, что означает, что стохастические свойства процесса были стабилизированы.

Функция вероятности этого остаточного рабочего времени определена уравнением:

$$P\{\zeta > \tau\} = \frac{1}{T_p} \int_{\tau}^{\infty} [1 - F(t)] dt \quad (5.16)$$

Ожидаемое среднее из остаточного рабочего времени определено уравнением:

$$T_{res} = \frac{T_p}{2} + \frac{\sigma_p^2}{2T_p} \quad (5.17)$$

Можно найти дальнейшие интересные приближения, изучив эти публикации: Смит (1959), Гньеденко и др. (1965) и Копоциньский (1973).

5.1.2 Процесс изменений состояний: тип ремонта работы

Этот тип процесса известен в теории эксплуатации; однако, после номенклатуры, используемой в предыдущем разделе, этот процесс нужно назвать процессом возобновления с конечным промежутком времени ремонта. Состояния альтернативны; тем не менее, давным-давно некоторые расследования были ориентированы

³Примечание $N(m, \sigma)$ обозначает нормальное распределение, где среднее равняется m и стандартному отклонению σ .

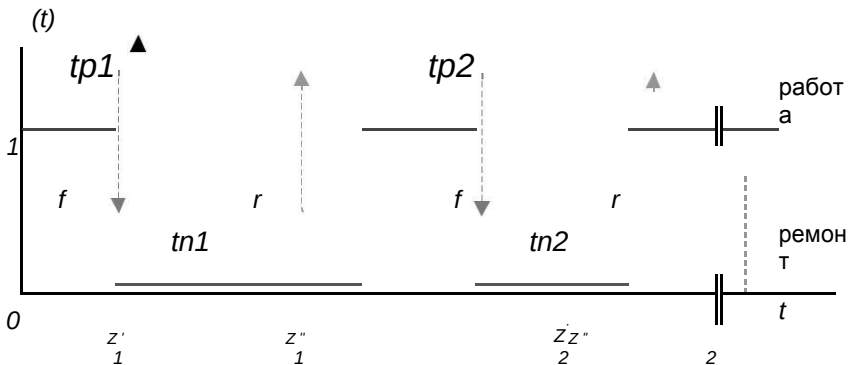


Рисунок 5.3. Обработайте $\Psi(t)$ изменений состояний: работа — ремонт.

Ключевые слова: f — неудача, r — возобновление, t_p — рабочее время, t_n — восстанавливают время.

к неальтернативному процессу, с регенерацией, следующей из обзоров объекта, делавшихся периодически (см., например, Чаплицкий4 1985).

Почти все машины и технические устройства, примененные в горной промышленности, являются поддающимися ремонту объектами и, если временем ремонта нельзя пренебречь, процесс изменений состояний типа ремонта работы находит применение описать процесс эксплуатации этих единиц. Важно знать о том, что этот тип процесса описывает свойства надежности объекта хорошо, но очень часто больше состояний представляет интерес с точки зрения эксплуатации (от объекта, функционирующего точка зрения, например), и целый процесс более сложен.

Этот процесс может быть определен следующим образом.

Определенный объект начинает свои обязанности. Это хорошо и в состоянии выполнить свои требования. Это начинает работу и после того, как определенный период времени t_{p1} неудача произойдет. В ремонте нуждаются. Это сделано вовремя t_{r1} и после ремонта, объект восстановлен — это начинает свои обязанности снова. После того, как время t_{w2} новая неудача происходит, и ремонт занимает время t_{n2} . Новое восстановление отмечено, и работа начинается еще раз.

Предполагается, что у случайных переменных $t_{p1}, t_{p2}, \dots$ есть одно распределение вероятности:

$$P\{t_p < t\} = F(t) \quad i = 1, 2, \dots \quad (5.18a)$$

и у всех случайных переменных $t_{n1}, t_{n2}, \dots$ также есть одно распределение вероятности:

$$P\{t_n < t\} = G(t) \quad i = 1, 2, \dots \quad (5.18b)$$

Дальнейшее предположение - то, что эти случайные переменные взаимно независимы и их основное известны статистические параметры:

$$\begin{aligned} E(t_p) = T_p = \lambda^{-1} & \quad E(t_n) = T_n = \mu^{-1} \\ D^2(t_p) = \sigma_p^2 & \quad D^2(t_n) = \sigma_n^2 \end{aligned} \quad (5.19)$$

Процесс может быть определен как:

$$\Psi(t) = \begin{cases} 1 & Z_n'' < t \leq Z_{n+1}' \\ 0 & Z_{n+1}' < t \leq Z_{n+1}'' \end{cases} \quad n = 0, 1, \dots \quad (5.20)$$

- Модель, описанная в данной статье, была судом над описанием моих подъемов процесса определенной эксплуатации.

Взгляд на уравнения 5.19 более тщательно. Параметр T_w является средним рабочим временем, тогда как его взаимный λ определяет интенсивность неудач объекта (интенсивность отказов). Параметр T_n является средним временем ремонта, тогда как его взаимный μ определяет интенсивность ремонта объекта. Важно помнить, что у всех этих параметров есть размеры. Размеры обеих интенсивности - единица времени к власти -1 . Давайте прочитаем, что, если λ - скажем, $1/100$ он, означает, что одна неудача происходит после 100 часов работы объекта в среднем. Если μ равняется, скажем, $1/2$, это означает, что неудача убрана после 2 часов ремонта в среднем.

Помните, что формулы 5.18 и 5.19 определяют состояния вполне хорошо отдельно. Теперь пора построить некоторые формулы, которые описывают свойства целого процесса.

Самой важной является вероятность:

$$A(t) = P\{\Psi(t) = 1\}, \quad (5.21)$$

который является вероятностью события, что объект находится в состоянии работы (состояние). Эта вероятность - функция времени.

Меру 5.21 называют pointwise доступностью (см. Кодама и Сава 1986 или Малада 2006); этот термин был использован с конца 1950-х (Хосфорд 1960). По словам некоторых авторов альтернативный термин для этой вероятности - мгновенная доступность (Элсайд 1996, www.Уейбулл.com 2007).

Это может быть доказано (см., например, Гньеденко и др. 1965, Копоцинский 1973), что:

$$A(t) = 1 - F(t) + \int_0^t [1 - F(t-x)] dH_{\Phi}(x) \quad (5.22)$$

где:

$$H_{\Phi}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} P(Z_n'' < t) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^t F_n(x-u) dG_n(u)$$

Эти формулы почти никогда не используются в регулярной практике эксплуатации. Единственное исключение - их применение в операции систем готовности — спасательных единиц — используемый в горной промышленности, когда обрушение крыши призывает, чтобы мгновенная чрезвычайная мера освободила шахтеров, пойманных в ловушку этим драматическим событием.

Ограниченная ценность функции (t) назвала **установившуюся доступность, отдаленная доступность доступности** или **ограничения** нашла очень широкое применение в технической практике (см., например, Гньеденко и др. 1965, Рябинин 1976, Килинский 1976, Адачи и др. 1979, Бейчелт и Фишер 1979, Википедия 2007). Этот параметр определен известной формулой:

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{E(t_w)}{E(t_w) + E(t_r)} \quad (5.23)$$

Во многих англоязычных технических публикациях и разработках эта мера известна короче говоря — к сожалению — как доступность.

Доступность - собственность (способность, особенность) объектов, которые могут быть восстановлены, который является процессом эксплуатации с точки зрения надежности, с двумя состояниями: работа — ремонт (состояние — вниз указывают). Однако некоторые авторы (см. Бобровского 1985 р. 77), расширяют эту идею неподдающимся ремонту объектам, указывающим, что доступность объекта, который не может быть восстановлен в данный момент вовремя $t > 0$, равна надежности этого объекта во временном интервале $[0, t]$. Таким образом идея доступности может быть увеличена, чтобы включать системы, состоящие из неподдающихся ремонту

элементов. Это рассуждение может быть полезным, рассматривая некоторые электронные системы, применяемые в горной промышленности.

Выглядит интересным перевести математическое примечание $t \rightarrow \infty$ в техническую действительность. Интересное место здесь - ответ на вопрос: как быстрый делает функцию (t) , склоняются к его ограниченной стоимости A ?

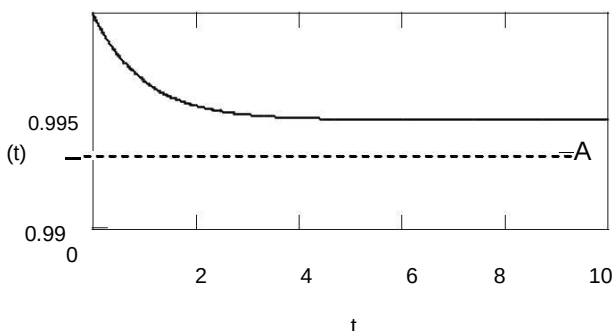


Рисунок 5.4. Функция (t) и его ограниченная стоимость относительно времени.

Расследование надежности, выполненное в середине 1970-х в польской горнодобывающей промышленности (Антоняк и др. 1973–75), показало, что для большинства машин время стабилизации коротко — несколько часов, как правило (см. рисунок 5.4). Поэтому использование ограниченной стоимости абсолютно рационально.

Как в случае надежности, были определены несколько различных мер для доступности. Заметьте, которые, если мы обсуждаем и анализируем определенную идею (термин) и несколько различных мер его, были определены, это означает — как правило —, что эта идея определяет определенную собственность объекта (способность, способность). Не отождествляйте меру с собственностью, которой она касается. Эти две вещи отличаются; однако, меры определяют эту способность до известной степени.

Обычно с математической точки зрения, все меры доступности - вероятности. Первые документы о наличии появились в начале 1960-х годов вместе с соображениями достоверности (Хосфорд 1960, Биелка 1960, Маликов и др. 1960). Наги (1963), Бэйли и Михаил (1963), Гньеденко и др. (1965), Томпсон (1966), и Грэй и Льюис (1967) имел дело с проблемой оценки доступности от статистических данных. Брендер (1968) две бумаги читал всестороннюю лекцию об определении доступности, определяя установившуюся доступность, доступность пункта, установившееся наличие миссии, установившуюся доступность ремонта, переходную доступность пункта, установившуюся доступность второго вида, переходное наличие миссии и установившуюся повторную доступность спроса. Проблемы, связанные с доступностью, были замечены как столь жизненно важные, что в 1971 один несколько публикаций рассмотрели эту проблему, такую как Мартц,

Кодама и др., Накагава и Гоель, Десять кубометров, и Макниколс и Мессер. Несколько лет спустя теория доступности термина была сформулирована (см. Бэкстера 1985). Расширение Бобровского (1985) суждение Бэкстера поддержек.

Уравнение 5.23 определяет вероятность события, что объект находится в состоянии работы в любой момент времени, но это касается процесса ремонта работы исключительно. Эта мера не связана с точным моментом t вообще.

Нет сомнения, что это - один из самых важных параметров надежности/доступности поддающихся ремонту технических объектов. Его оценка обычно дается производителем в списке главных параметров продукта. Эта информация очень полезна для оценки производственных циклов объекта и, позже, оценки фактической производительности объекта и других мер эффективности объекта эксплуатации.

Теперь мы вводим безразмерный параметр, отношение математических ожиданий и очевидно отношение интенсивности:

$$\kappa = \frac{E(T_n)}{E(T_p)} = \frac{\lambda}{\mu} \quad (5.24)$$

Этот фактор называют частотой ремонтов или (редко) коэффициентом ошибки (см., например, Рьябинин 1976). Его отношения с установившейся доступностью - строгое потому что:

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{1}{1 + \kappa} \quad (5.25)$$

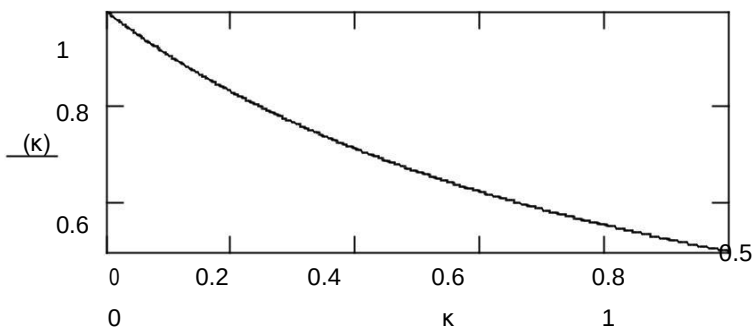


Рисунок 5.5. Отношения в качестве примера между частотой ремонтов κ и ее соответствующей установившейся доступностью (κ).

Очень часто интересный параметр - количество неудач (выполненные ремонтные работы) $V(t)$ в данном временном интервале $(0, t)$. Если этот интервал относительно длинен, у случайной переменной $V(t)$ есть асимптотически нормальное распределение:

$$N \left(\frac{t}{T_p + T_n}, \sqrt{\frac{(\sigma_p^2 + \sigma_n^2)t}{(T_p + T_n)^3}} \right) \quad (5.26)$$

Это заявление позволяет подобной оценке интервала быть построенной для случайной переменной $v(t)$, как был сделан в уравнении 5.15.

Одно заявление требует объяснения здесь: если этот интервал относительно длинен. Для технических объектов высокой надежности как конвейеры пояса, действующие в качестве главных единиц перевозки, этот интервал должен быть многими месяцами (по крайней мере, год или так). Для AFC, работающего в угольном забое, этот интервал достаточно длинен, если это - только несколько недель.

Другая интересная особенность процесса - полное рабочее время $T_{\Sigma}^{(w)}$ объекта по временному интервалу $(0, t)$. Это было доказано (см. Гньеденко и др. 1965, Копоцинский 1973), что у этой случайной переменной есть асимптотически нормальное распределение:

$$N \left(At, \sqrt{\frac{(\sigma_p^2 \mu^2 + \sigma_n^2 \lambda^2)t}{(T_p + T_n)^3}} \right) \quad (5.27)$$

Оценку интервала для $T_{\Sigma}(W)$ легко построить на основе выражения 5.27.

В середине 1970-х некоторые исследователи интересовались лучшей оценкой случайной величины $T_{\Sigma}^{(w)}$. Введена новая нормализованная случайная величина $T_{\Sigma}^{(w)} / t$ и найдены ее основные статистические параметры. Суждение было сделано применить бета распределение, которое также определено по $[0, 1]$ интервал, и предположить, что это - распределение параметров, найденных от этой новой случайной величины.⁵ Этот способ рассуждать сделал небольшое улучшение оценки $T_{\Sigma}^{(w)}$ (W) распределение вероятности случайной величины (Чаплицкий и Лутыньский 1987).

Где обычные конвейеры пояса затронуты, всесторонние расследования надежности, которые несут в польской горнодобывающей промышленности и для подземных шахт и для карьеров, показали, что больше чем в 95% случаев и рабочее время и распределения вероятности времени ремонта были удовлетворительно описаны показательными функциями. Поэтому можно предположить что процесс эксплуатации

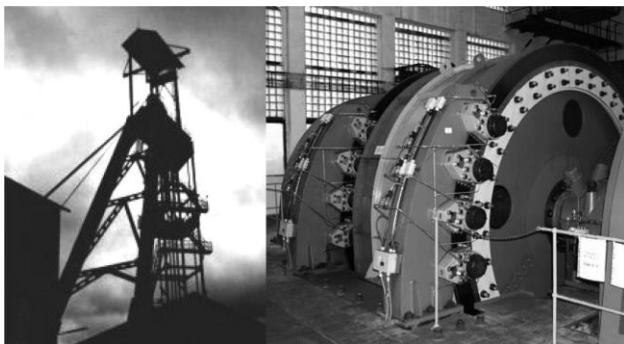
⁵ Результаты были опубликованы в IEEE Сделки по надежности более тридцати лет назад.

из обычного пояса конвейеры могут быть смоделированы удовлетворительно процессом Маркова с двумя состояниями (для определения процесса Маркова, см. Главу 7).

Различная ситуация в этом отношении может быть отмечена в связи с конвейерами пояса, которые являются конструктивными элементами больших машин шахты. Эти единицы перевозки, которые работают близко к производящему земляные работы устройству, получают потоки извлеченной скалы с высокой дисперсией. Это затрагивает длительность некоторых элементов конвейера и собраний, таким образом, производя более высокую интенсивность неудачи. Однако эти конвейеры не работают непрерывно. Их пробег остановлен, когда целая машина находится в неудаче, которая не очень редка, и некоторые ремонтные работы занимают много времени. Кроме того, эти машины требуют технических обзоров, и они обычно длительны. По этим причинам интенсивность использования этих конвейеров ниже, чем тот из конвейеров пояса, работающих в обычных линиях перевозки конвейера.

5.2 СПУСКОПОДЪЕМНЫЕ УСТАНОВКИ

Почти у всех подземных шахт во всем мире есть спускоподъемные установки. Небольшое количество этих установок может также быть найдено в карьерах. Обычно они установлены на поверхности, но некоторые спускоподъемные установки расположены метрополитен в очень глубоких шахтах.



Спускоподъемные установки - организованный набор машин и других элементов оборудования, которые разработаны, чтобы выполнить основные и вспомогательные задачи транспортировки в стволе шахты или на наклоне открытой ямы. В большинстве случаев важность подъема трудно переоценить. Почти все, чему нужно поставить метрополитен и это должно быть транспортировано из шахты, должен быть сделан подъемом.

Подъем - система, состоящая из двух подсистем:

- ведущая подсистема
- транспортировка подсистемы.

Ведущая подсистема - наматывающая машина. Подсистема транспортировки состоит из перевозок, веревок, приложений веревки и руководящей системы.

У каждого подъема есть присвоенный номер часов в день, в который состоят в том, чтобы быть поняты задачи транспортировки. Это время называют как *время распоряжения*, T_d — у шахты есть он 'в распоряжении', чтобы достигнуть его обязанности транспортировки. Остающееся время, обычно ночные часы, посвящено профилактическим действиям в шахте, таким как ремонтные работы в случае необходимости, диагностические действия, и т.д. Давайте назовем на этот раз *бездействие распоряжения* или *запланированное бездействие*. Это время - детерминированная стоимость. Запланированное бездействие обязательно для шахты, и в это время подъем неработающий или берет дополнительные обязанности, отличающиеся от понятых в течение его времени распоряжения. Подъем ни в большой степени не загружается, ни в большой степени используется. По этим причинам, как правило, то, когда процесс операции по подъему - интересное место для инженеров и исследователей все, что продолжает эту систему в течение времени распоряжения, важно. Каждый день подъем начинает свои регулярные обязанности рано утром, когда стандартный процесс эксплуатации начинается и каждый день поздно вечером

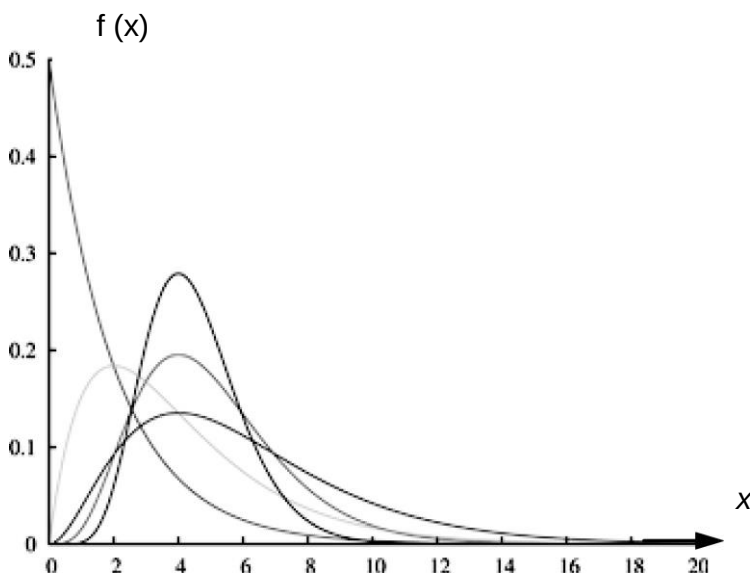


Рисунок 5.6. Сюжеты в качестве примера плотностей распределения вероятности для гамма распределения.

процесс остановлен (пренебрежение большими перерывами в производстве во время запланированных праздников). Этот тип операционного процесса

принадлежит классу неустойчивого стохастического processes⁶ (Чаплицкий 1981).

В течение времени распоряжения подъем может быть в трех отдельных состояниях эксплуатации: работа, ремонт и бездействие.

Поскольку всесторонние расследования эксплуатации, выполненные в польской горнодобывающей промышленности, показали (Антоняк и др. 1973–75), времена ремонта подъемов могут быть удовлетворительно описаны гамма распределением вероятности со средним больше чем из одного часа. Параметр формы распределения был в некоторых случаях ниже одного, обычно был примерно один и в некоторых случаях был больше чем одним. Рабочие времена были также описаны гамма распределением вероятности с параметром формы меньше чем один в некоторых случаях, примерно один во многих случаях и иногда больше чем один. Среднее рабочее время составляло приблизительно 200 часов (Чаплицкий и Лутыньский 1982). На основе результатов этих расследований было сформулировано важное заявление: приблизительно в 70% случаев процессом эксплуатации спускоподъемных установок типа ремонта работы был Марков один.

Поэтому следующая плотность распределения вероятности используется здесь:

$$\begin{cases} f(t) = 0 & \text{for } t < 0 \\ f(t) = \frac{\lambda^p}{\Gamma(p)} t^{p-1} e^{-\lambda t} & \text{for } \lambda > 0, p > 0, t \geq 0 \end{cases} \quad (5.28)$$

Для $p \in \mathfrak{N}$ гамма распределение становится распределением Эрланг. Очевидно, для $p = 1$ это распределение совпадает с показательным распределением. Для p быть несколькими из $\frac{1}{2}$ гамма распределение идентично χ^2 распределению.

⁶Этот термин был определен Бусленко и др. (1973, Глава 5.4).

Два главных статистических параметра определены формулами:

$$E(T) = p/\lambda \quad \sigma^2(T) = p/\lambda^2 \quad (5.29)$$

Важной проблемой, крайне важной с практической точки зрения, является анализ состояния бездействия. Его возникновение иногда затрагивает мою производительность до большой степени, особенно где главные шахты продукции затронуты.

Во время операции по подъему два фактора имеют идентичный эффект на эффективность подъема. Они - ненадежность подъема и прекращения подъема из-за возникновения состояния бездействия. Ненадежность подъема означает возникновение неудачи в системе, таким образом, что дальнейшая транспортировка остановлена.⁷ В технических вычислениях, эти ситуации представлены установившейся доступностью подъема, A_h . Но подъем может быть остановлен по разным причинам — потому что, например, есть

отсутствие скалы, чтобы транспортировать, есть отсутствие власти, неудача появляется в элементе оборудования, связанном с подъемом в ряду и т.д. У этих ситуаций есть стохастический характер, и к сожалению они неизбежны. Проблема состоит в том, чтобы уменьшить возникновение этих событий. В технических вычислениях этот второй компонент включен в использование подъема, U_h .

Расследование бездействия подъема, сделанного Чаплицкий (1977), включило наблюдение за спускоподъемными установками в течение времени распоряжения за многие дни. Каждый день полное рабочее время $T_{\Sigma}^{(d)}$ wданного подъема было отмечено, и следующее отношение вычислено:

$$u = \frac{T_{\Sigma w}^{(d)}}{T_d} \quad (5.30)$$

Каждый день результат отличался, который указывает, что этот фактор - случайная переменная. Поскольку это нормализовано, чтобы поддержать $[0, 1]$, бета распределение вероятности было применено, чтобы описать случайную переменную интереса. Тест на совершенство подгонки не дал территории, чтобы отклонить статистическую гипотезу, указав, что эти данные могут быть удовлетворительно описаны этим теоретическим распределением. Если так, мы можем записать:

$$U : Be(a, b) \quad a > 0 \quad b > 0 \quad 0 \leq u \leq 1$$

$$f_u(u) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} u^{a-1} (1-u)^{b-1} \quad (5.31)$$

Математическое ожидание и различие этой случайной переменной, очевидно, даны формулами:

$$E(U) = \frac{a}{a+b} \quad \sigma^2(U) = \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)} \quad (5.32)$$

Сюжеты функции $f_u(u)$ могут очень отличаться (см. Википедию), но в случае, который рассматривают математическим ожиданием U , выше 0.5, и поэтому у них есть формы как показанные на рисунке 5.7.

То, сколько часов в день потеряно из-за возникновения состояния бездействия, зависит от многих факторов.

Главные:

- количество рабочих лиц
- надёжность оборудования включена

⁷Иногда неудачи подъема происходят, которые не вызывают спускоподъемное прекращение. Эти неудачи беспокойства некоторых электронных частей, как правило.

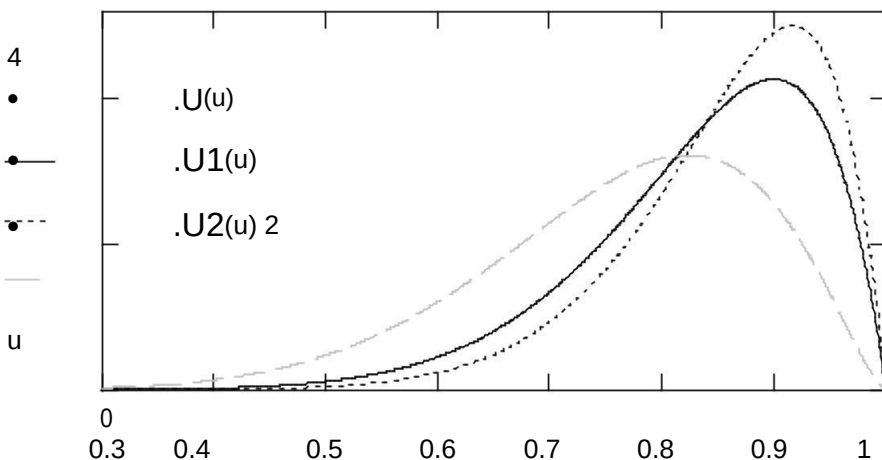


Рисунок 5.7. Сюжеты плотности распределения вероятности использования подъема для различных параметров.

- number элементов оборудования участвовал в операции
- структура раскопок и систем перевозки
- управление системой оборудования вовлечено
- применение горных сумматоров.

Потери, связанные с существованием состояния бездействия, могут быть посчитаны как между 5% времени распоряжения (превосходный результат) максимум к 25% (или еще больше) времени распоряжения (бедный результат) для систем пропуска (ср. Альберт и др. 1975, Чаплицкий 1977). Для клетки потери систем обычно больше по очевидным причинам.

По сравнению с установившейся доступностью подъемов, которая обычно является выше 0.95, потери из-за их плохого использования больше.

Для дальнейшего анализа процесса эксплуатации и надежности подъемов ценно знать, независимы ли состояния в процессе. Кроме того, ответ на вопрос того, что имеет значительное влияние на ценности основных индексов надежности этих установок, крайне важен.

Во время многих процитированных исследований надежности спускоподъемных установок (Антоняк и др. 1976— анализ корреляции был сделан (Чаплицкий 1978) принятие во внимание факторов, таких как тип примененной перевозки, тип ведущего двигателя, скорости путешествия, глубины ветра, полезного груза перевозки, среднее время ремонта, среднее рабочее время, время бездействия распоряжения и интенсивность отказов. Математические инструменты, примененные в этих исследованиях, были коэффициентом корреляции Пирсона, коэффициентом корреляции разряда Спирмана, частичным коэффициентом корреляции и нелинейными мерами по корреляции. Самые интересные результаты следующие.

– Поскольку пропуск поднимает дольше время бездействия распоряжения в день, выше надёжность подъема. **Комментарий:** подъемы пропуска - главные единицы перевозки, транспортирующие полезные ископаемые на поверхности. У них обычно есть высокая интенсивность использования, и очевидно им нужно надлежащее обслуживание, включая ремонт, регуляторы и другие профилактические действия, а также подходящую диагностику. Все они требуют, чтобы время сделало надлежащим способом с высокой точностью. Наличие более длительного времени, чтобы сделать их означает, что эти действия, более вероятно, будут выполнены более правильно. Это создает более высокую надёжность установок. Кроме того, в некоторых случаях значительная корреляция была прослежена между временем ремонта подъема и время рабочего времени после ремонта — более длительное время ремонта, ведомое к более длительному рабочему времени. Выглядит, как будто это открытие может быть объяснено таким же образом.

– У подъемов, имеющих различные типы двигателей, есть различная надёжность; обе средних меры рабочего времени и времени ремонта существенно отличаются.

– Тип перевозки, прикладной также, имеет влияние на среднее время ремонта подъема.

Более всесторонний анализ наряду с применением мер по корреляции был дан в Главе 3.9.

Обычно шахта спускоподъемные установки является системами высокой надежности. У наматывающих машин шахты есть немного неудач в год, которые вызывают прекращение обмотки. Остающиеся элементы подъема имеют также высокую длительность, их процессы изнашивания имеют механическую природу в большинстве случаев. Они обычно исправляются или заменяются в случае необходимости в течение времени бездействия распоряжения. Редко использование подъема, плохое, где главные единицы транспортировки затронуты.

5.3 ПОДЪЁМНЫЕ ВЕРЕВКИ

Это чрезвычайно важные технические структуры подъемов. Их надёжность определяет в значительной степени производство подземной шахты, и их надёжность также сильно связана с проблемой безопасности.



Они имеют различное строение и различных свойств; однако, один аспект оставался стабильным в течение многих лет — они сделаны из стального провода. (Хотя, кажется, что день, когда сталь будет заменена составными пластмассами, не слишком отдален).

С точки зрения надежности они - неподдающиеся ремонту объекты, работающие непрерывно с момента их установки в подъем до момента их отказа из дальнейшей эксплуатации. Поэтому все модели надежности, которые рассматривают в этой книге до этого пункта, бесполезны. Новый подход должен быть представлен 8

- Соображения, представленные в Главе 5.3, отличаются от предлагаемых профессионалами в их разработках (см. монографию Тытко 2003 года или бумаги OIPEEC).

5.3.1 Модель процесса износа подъемных веревок

Во-первых, определение неудачи должно быть решено. Неудача - одно из кардинальных условий в теориях надежности и эксплуатации, и выглядит на первый взгляд, как будто это обычно понимается. Но, действительность — как обычно — более сложна.

Верно, что в некоторых фундаментальных публикациях относительно надежности, неудача не определена, поскольку предполагается, что значение этого термина очевидно (см., например, Гньеденко и др. 1965, Гертзбах и Кордонский 1966, Мелчерс 1999). Но в большинстве публикаций некоторые определения - то, учитывая, что, кажется, означают приблизительно то же самое на первый взгляд, но они делают не полностью. Давайте процитируем несколько определений.

Временное или постоянное завершение способности предприятия выполнить его необходимую функцию (Телекоммуникационный Глоссарий Атис).

Неудача в целом относится к состоянию или условию не встречи желательного или предназначила цель (Википедия).

Неудача - любое событие, которое влияет на систему способом, которая оказывает негативное влияние на системные критерии ..., определение неудачи может изменяться на данной системе со временем (www.asknumbers.com/WhAtisReliability.aspx).

Неудача - несоответствие к некоторому определенному исполнительному критерию (Смит 2007).

Завершение способности пункта выполнить необходимую функцию (О'Коннор 2005, БАКАЛАВР НАУК 4778).

Неудача - событие, после которого система выведена из строя (Рябинин 1976).

Неудача - событие или проход из состояния способности выполнить определенные функции к внизу состояния (Мигдальский 1982, Камирзак 2000).

Неудача: неспособность пункта/части оборудования/системы, чтобы работать в рамках указанных рекомендаций (Диллон 2008).

Заметьте, который согласно некоторой неудаче авторов является своего рода событием (Атис, www.asknumbers.com, О'Коннор, Рябинин, Мигдальский, Камирзак), но некоторые исследователи имеют мнение, что это - состояние (Википедия, Смит, Диллон). Эти два условия — у случая и состояния — есть абсолютно различные значения. Поскольку у надежности есть стохастическая природа, нужно обратиться к теории вероятности для определений этих двух условий. Различие явно видимо: у события есть нулевая продолжительность, состояние отличное от нуля продолжительности. Событие эквивалентно импульсу, в то время как состояние связано со случайной переменной, которая определяет ее отрезок времени.

В наших соображениях мы принимаем следующий подход. **Неудача - событие** стохастической природы во время операции технического объекта. Можно предположить, что это событие включает проход от одного состояния до другого, от лучше до худшего. В некоторых случаях этот проход означает завершение жизни объекта. В некоторых случаях этот переход означает, что объект не в состоянии выполнить свои обязанности, но после некоторых действий, эта способность будет восстановлена. Иногда это означает, что способность объекта только немного хуже, и много подобных неудач могут произойти в объекте — объект выполняет свои обязанности, но с более низкой эффективностью. В некоторых случаях возникновение неудачи связано с безопасностью объекта. Объект все еще выполняет свои обязанности на полную мощность, но с более низкой безопасностью. Этот последний случай относится к шахте спускоподъемные веревки. Кажется, что эта проблема отсутствует во многих публикациях в этой области. Тем не менее, в некоторых

передовых соображениях такой случай включен (см. Андерсона и Рэнделла 1979), но немного отличающимся способом к представленному в этой книге.

Нет сомнения, что у определения неудачи, которая была предположена, есть значительные последствия для дальнейших соображений надежности и эксплуатации. Во многих публикациях можно найти доказательство истинности этого заявления (см., например, Фашанди и Умберг 2003).

В исследованиях надежности неподдающихся ремонту объектов наиболее часто прикладную модель называют надёжностью пункта, работающего до первого возникновения неудачи. Однако мои главные веревки, действующие в качестве спускоподъемных элементов, не работают до первого возникновения неудачи. Если термин *неудача* понят, чтобы означать разрыв веревки, то, к счастью, это событие имеет место очень редко, и это можно только рассмотреть в контексте исследования катастрофических событий, применяя теорию крайностей. Если термин *неудача* понят, чтобы означать единственную трещину единственного провода, то может быть много таких событий, иногда считаемый в сотнях или еще больше. По этим причинам неудача не надлежащее слово, чтобы использовать здесь. Необходимо посмотреть на процесс изнашивания веревки более всесторонним способом.

Процесс износа веревки бежит непрерывно с первого дня действия веревки. Трудно найти другой пример технического объекта, который работает под таким большим количеством различных грузов, которые постоянно изменяются со временем; и изменение существенно в скором времени. В каждом цикле работы внезапно в большой степени загружена веревка, когда огромная часть разрушенной породы попадает в контейнер пропуска от метрополитена кармана меры. Тогда движение перевозки начинается, и динамическая нагрузка происходит, когда ускорение применено от наматывающей машины. В то время как пропуск управляет веревкой, колебания сопровождают это движение и пробег волн в веревке и рассеяны в приложении веревки. Тем временем момент крутящего момента, который существует в веревке из-за ее строительства, изменяет свою стоимость, поскольку это - функция длины веревки в шахте. Этот момент крутящего момента пытается вращать перевозку, но это не может быть сделано из-за существования направляющей системы. Поэтому веревка далее искривлена (или раскручена) в зависимости от стадии движения пропуска. По этим причинам сокращена длина веревки, или удлинение этой веревки замечено. И кроме того, во время вовлекают транспортировку в шахте есть маленькое взаимное смещение проводов, и сила трения, и во время этого трения смещения постепенно уничтожает поверхность провода. Когда пропуск около поверхности, наматывающая машина начинает замедляться, и происходит новая динамическая нагрузка. Когда демпинг закончен, веревка внезапно разгружена от этого большого веса. Перевозка подпрыгивает. Кроме этих грузов и сил, веревка также согнута по шкивам и по барабану во время цикла

работы (если этот тип перевозчика веревки применен). Этот изгиб может быть однонаправлен, или у него может быть двойное направление. Очень часто рудничный воздух, текущий вокруг веревки, несет многие элементы, и некоторые из них создают кислотный или основной туман. Ржавчина веревки, вероятно, произойдет. Грязь и горная пыль агглютинированы к проводам, который увеличивает отрицательные эффекты во время разногласий между самими проводами.

Часто количество циклов работы веревки посчитано в сотнях в единственный день. Даже если определенный компонент в цикле работы имеет очень маленькое влияние на процесс изнашивания веревки, когда веревка выполняет тысячи циклов, этот маленький компонент становится важным, и его значение может быть большим.

Физически, процесс изнашивания веревки - в первую очередь, процесс усталости по характеру. Проводные трещины наблюдаются, и они увеличиваются численно со временем. Кроме того, коррозия может появиться, и местные стальные массовые потери могут наблюдаться, но эти типы изнашивания веревки не настолько частые. Поэтому их не рассмотрят далее здесь.

Смотря на многие процессы изнашивания в веревках различного строительства, кажется, что может быть оттянута общая модель. Это представлено на рисунке 5.8. Основной момент соображения будет явлением накопления трещин провода веревки.

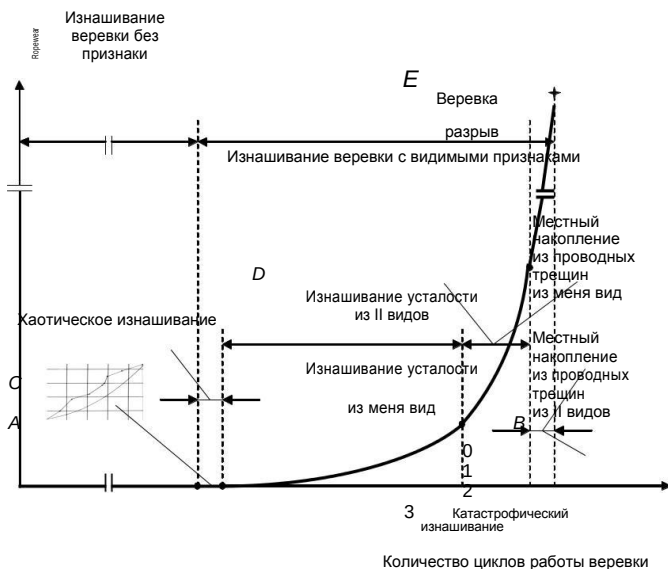


Рисунок 5.8. Модель подъема возглавляет процесс изнашивания веревки типа усталости.

Как предварительное заявление нужно вспомнить, что, из-за строительства веревки, даже если единственный проводной перелом появляется, этот провод может нести свой груз после того, как приблизительно пять - шесть из спирали ведут веревки, потому что сломанный провод будет захвачен, гранича с проводами в результате сил трения, действующих между этими проводами. Таким образом у данного единственного провода может быть много трещин вдоль его длины.

Когда веревка начинает свои обязанности во время определенного периода времени, никакие эффекты изнашивания не видимы (0, A). Наконец, первые проводные трещины наблюдаются. Обычно, эти первые несколько трещин (и иногда больше) являются результатом и процесса усталости и местных ошибок в материале, используемом во время провода и производственных процессов веревки. Некоторые ошибки могут следовать из стали, используемой для производства, некоторые ошибки, возможно, были произведены во время производственного процесса целой веревки. Этот период (A, B) обычно короток и хаотичен по характеру. Иногда это почти не наблюдается.

Когда количество трещин в проводах начинает расти, их общее количество, отмеченное вовремя или их общее количество против количества выполненных циклов работы (лучший параметр), начинают лежать приблизительно вдоль определенной линии. Обычно это простирается вдоль увеличивающейся кривой (B, C); в некоторых случаях это простирается вдоль прямой линии, особенно в период начала. Редко делает скорость приращения общего количества уменьшения обрывов провода.

После того, как определенный период времени, в течение которого использование веревки продолжено, накопление трещин в проводах на определенном разделе веревки, становится значительным. На одном разделе веревки (позже иногда есть два), общее количество трещин отчетливо выше, чем на других разделах веревки. В предыдущий период (A, B) трещины в проводах были равномерно распределены в стохастическом смысле почти вдоль общей длины веревки. Теперь, эта регулярность нарушена и изменена (см. рисунок 5.9). Это означает, что кроме регулярного процесса усталости новый компонент появился. Поэтому предыдущий период назовут: *изнашивание Усталости меня вид*. Теперь период *изнашивания Усталости II видов* — и два процесса, бегущие вовремя, важны для веревки (C, D). Первый процесс, усталость материала для целой веревки, делает случайное, но однородное распределение трещин в проводах и вторых результатов в накоплении трещин в определенном разделе веревки или разделах. Эта ситуация в процессе изнашивания веревки становится опасной. Это известно, что разрыв веревки происходит, когда такое количество трещин появляется на определенном разделе веревки, что план действий изменяет свой характер — за существенно короткий период времени, веревка будет оторвана (D, E). Заметьте, что в период (C, E) местное накопление трещин в проводах

наблюдается; однако, в период (C, D) у этого процесса есть один характер, тогда как в (D, E) это полностью изменено.

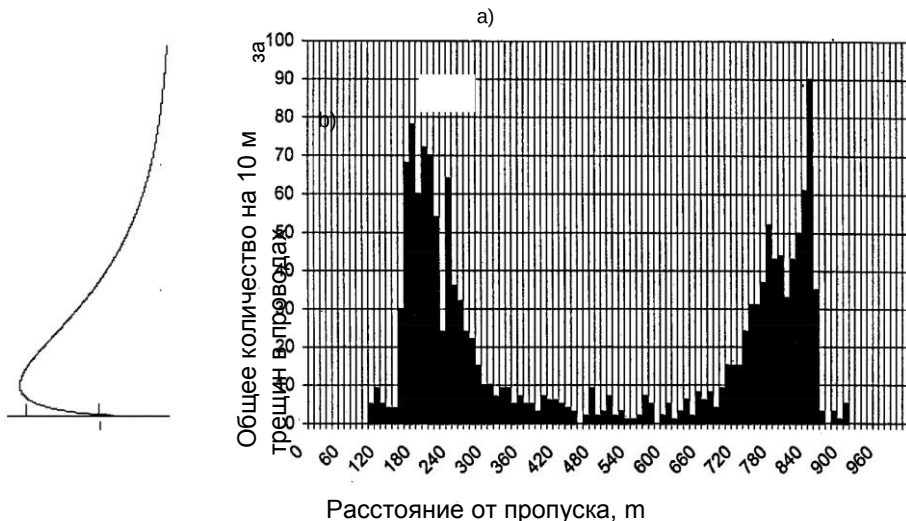


Рисунок 5.9. а) Плотность распределения количества трещин накопилась на данном разделе веревки; б) Распределение трещин в проводах вдоль длины веревки (Тытко и Ноуоки 2006).

Различное качество появляется в физическом смысле. Стоит отметить, что между пунктами 0 и E несколько различных физических процессов бегут, которые создают изнашивание веревки. Один процесс бежит непрерывно с первого дня операции по веревке — это - процесс усталости. Второй процесс переезжает период (A, B) , но это вымирает в конце этой фазы. Третий процесс появляется в начале стадии (C, D) , и это бежит до конца. Точно так же новый компонент происходит в период (D, E) , и это также бежит до конца.

Одно заключение кажется непреодолимым здесь — это выглядит рациональным, что к различным функциям приближения нужно относиться, аналитически описывают план действий на стадиях, где ряд элементов изменяет свой состав.

С математической точки зрения процесс изнашивания веревки - стохастический с очень сложными свойствами, которые изменяются за время. В самом начале, можно предположить, что это - постоянное. Никакие эффекты изнашивания не видимы. Затем, местные трещины в проводах начинают происходить, и они растут в числе со временем. С этого момента процесс - нестационарный. Вначале вероятность возникновения двух или больше трещин незначительна, таким образом, можно предположить, что процесс - исключительный. Тем не менее, эта вероятность увеличивается со временем и — если операция по веревке продолжается — вероятно, что возникновение

двух или больше трещин будет видимо. Кроме того, память в процессе замечена, который выражен автокорреляцией. В этот период процесс нестационарный, неисключительный и с памятью. Если действие веревки продолжается, процесс изменяет свой характер существенно в определенный момент. Накопление трещин в определенном разделе веревки будет столь большим, что разрыв веревки будет неизбежен.

Горные инженеры довольно сознательны, что спускоподъемная веревка значительно важна для всей добычи руды и что это ответственно за безопасную транспортировку в шахте. Они знают о том, что процесс изнашивания веревки чрезвычайно сложный. Это причины, почему особое внимание обращено на эксплуатацию веревки, как правило. Диагностика веревок сделана с большой концентрацией, и результаты обычно анализируются и отмечаются. В первые годы горной промышленности только визуального осмотра был применен. Однако в течение прошлых пятидесяти лет основной метод был электромагнитным обнаружением трещины частицы. Другие методы имеют меньше значения. Этот метод ориентирован на отслеживание самого слабого раздела веревки и почти ничего иного. Это пренебрегает тем, что процесс изнашивания веревки бежит со временем, и ее признаки видимы. Используя эту информацию, более ценные выводы на реальном положении веревки могут быть сделаны; лучше, чем базирующиеся исключительно на одном разделе веревки, даже когда этот раздел - самый слабый.

Давайте посмотрим на процесс изнашивания веревки более тесно. Первые два периода изнашивания веревки неинтересны. Во время первой стадии никакие признаки не видимы; во время второй стадии признаки незначительны. Последняя стадия также неинтересна, потому что — к счастью — она очень редко замечается на практике. Поэтому интересные места должны быть третьими и четвертыми стадиями процесса изнашивания веревки.

5.3.2 Применение функций приближения

Посмотрите на некоторые курсы в качестве примера процесса изнашивания веревки на рисунке 5.10. Смотри на это число, вывод может немедленно быть сделан — процесс изнашивания веревки, понятый как процесс накопления трещин в проводах со временем, может быть приближен прямой линией или выпуклой кривой линией.

Среди выпуклых кривых линий функция власти и показательная функция могут быть полезными. Таким образом мы можем записать:

$$\Theta_t = \alpha t_1 + \alpha_0 + \gamma_t \quad (5.33)$$

⁹Обычно, предполагается, что параметр вероятностного процесса - время. Этот подход распространен в эконометрике, или у демографии, например, но в техническое время практики есть более низкое значение. Альтернативный

параметр процесса должен быть числом тонн, выкопал, транспортировал или свалил. В некоторых случаях количество выполненных циклов — веревку подъема — нужно рассмотреть сначала. Если интенсивность использования спускоподъемной установки приблизительно постоянная во время жизни веревки, время может быть принято во внимание вместо количества циклов работы подъема.

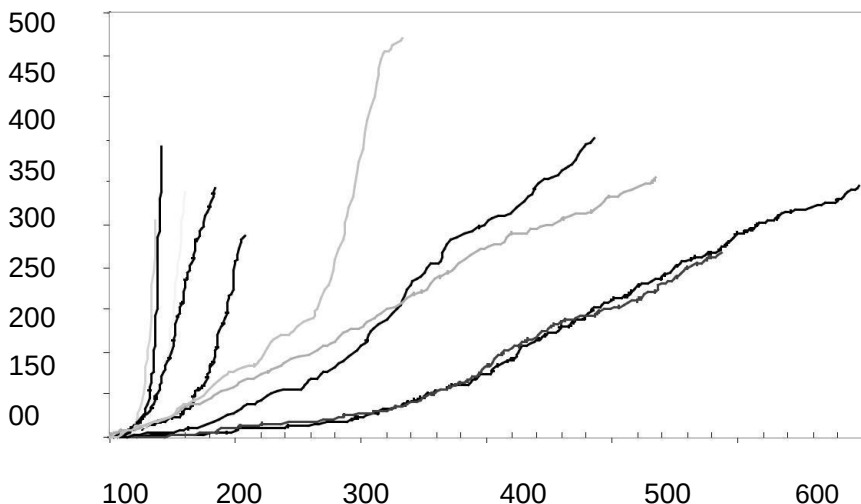


Рисунок 5.10. Диаграмма функций общего количества трещин в проводах для различной головы подъема вовлекает 60 мм в диаметре против количества циклов $q \times 103$ работы веревки для одной шахты.

$$\Theta_t = \beta e^{(\beta_0 t^2 + \beta_1 t + \xi_t)} \quad (5.34)$$

Функция власти определена формулой 3.20:

$$\Theta_t = \delta t^{\chi \zeta t}$$

где Θ_t - общее количество трещин в проводах веревки, $\alpha_0, \alpha_1, \beta, \beta_0, \beta_1, \delta, \chi$ - структурные параметры функций, и γ, ξ_t, ζ_t - случайные компоненты.

Функция власти использовалась в Польше с конца 1950-х (см., например, Ковльчук 1957, Ковльчук и Стейнинггер 1963, Ковльчук и Ханкус 1965, 1966). Идея для ее использования следующие.

Обычно веревки носят способом усталости только. В те дни веревки берега треугольника использовались почти исключительно в качестве спускоподъемных элементов. Это было обязательно, чтобы отмечать общее количество трещин в проводах для каждой веревки на каждой шахте каждые выходные. В большинстве случаев граф общего количества трещин в проводах веревки, подготовленной против времени, мог быть подготовлен как пунктир,

создающий форму, подобную сюжету функции власти. Две теоретических функции, возможно, были учтены в те дни; однако, функция власти была отобрана, потому что предполагалось, что хорошей мерой увеличивающейся усталости веревки была скорость увеличения трещин числа в проводах. И эта скорость предполагалась как основная мера ослабления веревки.¹⁰ Поскольку первая производная функции 5.34 сложная, функция власти была выбрана несмотря на то, что у показательной функции есть три структурных параметра по сравнению с двумя параметрами функции власти. Очевидно, функции с тремя параметрами описывают данные лучше, чем функции с двумя параметрами.

¹⁰Эта идея была оставлена. Даже сегодня трудно определить критическое значение скорости, особенно когда есть несколько различных определений скорости увеличения трещин в веревках (Чаплицкий 2009а).

Способ оценить структурные параметры функции был довольно прост. Линеаризация была сделана, чтобы получить функцию прямой линии, и метод наименьших квадратов был применен, чтобы получить желаемые оценки. Теория приближения была на ранней стадии в ее развитии и, поэтому, никакой случайный компонент не был принят во внимание в те дни. В то время электромагнитное обнаружение трещины частицы просто появлялось, и важность исследований на основе примечаний трещин в проводах потеряла свое положение в скором времени. Скоро это было полностью оставлено неправильно, по моему мнению.

Нет сомнения, что цель найти растущее число трещин в проводах веревки состоит в том, чтобы создать картину развивающегося процесса изнашивания веревки, но проблема состоит в том, как исследовать и 'прочитать' эту картину правильно и всесторонне.

Рассмотрите теперь способ оценить структурные параметры. В первой линеаризации сделан, и метод наименьших квадратов применен. Лучшие помещаются в смысл наименьших квадратов, то, что случай модели, для которой у суммы квадратов остатков есть своя самая низкая стоимость, остаток, являющийся различием между наблюдаемой величиной и соответствующей стоимостью, данной моделью. Но для случая, который рассматривают нет никаких первоначальных ценностей, только их логарифмы (линеаризация). Метод гарантирует минимум для линеаризованной функции, но не гарантирует минимум для оригинального. К счастью, любая совершенная ошибка не настолько большая.

Кроме того, в классической модели линейной регрессии три предположения важны касающийся тип применяемой функции (Голдбергер 1966, например), а именно:

- $E(\zeta) = 0$
- $E(\zeta^2) = \sigma^2$
- с. $E(\zeta\zeta)_{st} = 0 \quad s \neq t.$

- Первое предположение говорит, что у случайного компонента модели есть математическое ожидание нуля.
- Посылка (b) указывает, что различие случайного компонента постоянное вовемя.
- Последнее предположение сосредотачивается на некорреляции случайного компонента.

Если эти предположения будут выполнены, у оценщиков, полученных из применения метода наименьших квадратов, будут хорошие, желательные статистические свойства. Действительно, применение метода наименьших квадратов гарантирует выполнение посылки (a), но не полностью из-за линеаризации.

Рассмотрите посылку (b). Давайте вспомним из Главы 3.3, что случайный компонент может быть определен двумя способами:

- как последовательность различий между эмпирическими ценностями θ_i и его теоретического коллеги; для формулы 3.18 это - последовательность:

$$u_i = \theta_i - at_i^b \quad i = 1, 2, \dots, N$$

- как последовательность остатков, определенных образом:

$$\hat{u}_i = \ln \frac{\theta_i}{at_i^b} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

который является результатом соответствующего преобразования формулы 3.18. Заметьте, что остаток здесь - индекс власти $s = e$, и очевидно N - объем выборки.

Проверить данные о шахте посылки (b) было взято, и образцы были разделены на два приблизительно в равной степени, и для каждого подобразца было вычислено соответствующее эмпирическое стандартное отклонение. Тест, использующий распределение *Распределение Фишера*, был применен, чтобы проверить гипотезу, указав, что оба стандартных отклонения - то же. Много образцов веревок различного строительства рассмотрели, и результат был:

‘Во многих случаях тест дал территорию, чтобы отклонить проверенную гипотезу; эмпирическое стандартное отклонение второй части было значительно больше, чем та из первой части’.

Кроме того, этот статистический способ рассуждать проводился для обоих средств определения остатков. Результаты были идентичны. Некоторые примеры этих соображений были представлены в публикациях Чаплицкий (1999, 2006с).

Эта статистическая информация была немедленно преобразована в физическую, техническую модель — она предлагает, чтобы для многих веревок их процессы изнашивания развивались таким способом, который производит увеличение дисперсии общего количества трещин в проводах

относительно его средней стоимости. Прогноз будущего количества трещин в проводах становится более трудным с более низкой уверенностью, когда количество циклов работы веревки выполнило увеличения. Однако мы все больше желаем хороших прогнозов, когда количество трещин значительно увеличивается.

Теперь рассмотрим посылку (с). Первые статистические расследования при отслеживании автокорреляции во временном ряду остатков, связанных с применением функции власти 2.20 для описания накопления трещин в веревках, были выполнены в 1999 (Чаплицкий). Тест Бреуш-Годфри был применен поддержанный тестом J полученный Павловский (1973), и автокорреляция до четвертого заказа была исследована. Больше чем в 70% исследованных случаев автокорреляция была найдена обоими тестами 11 были сделаны, Три вывода:

- у существования автокорреляции есть серьезные последствия для свойств оценок структурных образцовых параметров
- автокорреляция может использоваться во время прогноза, чтобы увеличить точность построенных прогнозов
- должна быть физическая причина, производящая эту регулярность.

Более всестороннее исследование было проведено тем же автором некоторое время спустя, приведя к дальнейшей публикации (Чаплицкий 2000).

Много данных по процессам изнашивания веревки для веревок различного строительства было исследовано. Большие выборки были разделены на три приблизительно равных подобразца, и автокорреляция до восьмого заказа была проверена 12

Некоторые интересные результаты были получены, и были сформулированы дальнейшие заявления:

- автокорреляция остатков была найдена для веревок различного строительства
- редко делает значительную автокорреляцию остатков, имеют отрицательную величину
- иногда автокорреляция увеличивается со временем
- не было никакого уменьшения в автокорреляции в течение наблюдаемого времени.

5.3.3 Память в процессе изнашивания веревок — дальнейшие функции приближения

Литературный обзор был выполнен (см. Дитлевса и Собчика 1986, Собчик и Спенсер 1992) в попытке найти физические основания для наблюдаемого явления. Это было обнаружено, что это было из-за природы процесса накопления усталости, веревка после того, как определенный период ее действия начинает 'помнить' свою деградацию и позже 'помнить' его. Эта гипотеза позволяет предположение, чтобы, возможно, новая и различная модель функции была применена.

Между тем вторая функция, показательное уравнение 5.34, была учтена, и были выполнены подобные расследования. Результаты не были удивительны — остатки показали идентичную регулярность. В большом количестве случаев была найдена автокорреляция.

Стоит отметить, что у обеих из этих функций нет физического смысла. Они только позволяют общее количество трещин в проводах для веревки, исследуемой, чтобы быть оцененными в течение данного времени (или для количества выполненных циклов работы) — и это - все. Однако точность этой оценки уменьшается со временем, как правило. Это означает, что, когда увеличения ослабления веревки и более точный прогноз состояния веревки очень желательно, математические инструменты применились, становятся менее точный.

- В Длубала (2009) расследования более высокий результат был получен — приблизительно 80% случаев.
- Автор знает о том, что в автокорреляции высокого уровня есть своего рода память, связанная с предыдущими заказами.

Эти функции описывают развивающуюся тенденцию процесса. Это соответствует приблизительно функции математического ожидания (общая тенденция, согласно номенклатуре, используемой в эконометрике). Но в их строительстве, не включен никакой 'механизм', который показывает, что состояние веревки зависит от состояния веревки незадолго до. В математике функция, которая содержит этот тип информации, является функцией авторегрессии. Его общая форма:

$$X_t = \sum_{i=1}^w \alpha_i X_{t-i} + \alpha_0 + \zeta_t$$

где:

$\alpha_0, \alpha_i, i = 1, 2, \dots, w$ являюсь структурными параметрами функции
 ζ_t случайный компонент.

Автор провел всестороннее исследование, чтобы найти лучшее 'предписание' среди этого класса функций, и результат:

$$\theta_t = \varphi_1 \theta_{t-1} + \varphi_2 \theta_{t-2} + \psi t + \chi_t \quad (5.35)$$

который является измененной версией функции авторегрессии. Единственная причина применения этой функции состоит в том, чтобы приспособить эмпирические данные лучшим способом и позволить прогнозу на будущем состоянии веревки быть построенным, если горизонт прогноза не слишком отдален.

Давайте теперь добавим еще один пункт, взятый от чистой теории до наших соображений. Термин 'память о вероятностном процессе' существует в теории вероятностных процессов, и этот термин много лет был известен (см., например, Гньеденко и Коваленко 1966). В целом можно указать, что у данного вероятностного процесса нет памяти, если будущая реализация

процесса зависит только от ценности текущего процесса и не относится ни к какой предыдущей реализации. На самом деле математики отличают несколько различных типов воспоминаний, таких как короткая память (см. Таким образом 2002), и хорошая память (см. Грейнджера и Жуэнксина 1996), в связи с различными типами процессов (непрерывные, временной ряд, и т.д.).

У процесса изнашивания веревки есть стохастическая природа. Каждый вероятностный процесс может быть или запиской-gyless или иметь память. На самом деле можно ясно указать, что у этого процесса есть память, и эта собственность — согласно лучшему знанию автора этой книги — еще не была исследована всесторонне.

Прежде чем продолжение дальнейшего рассуждения позволило нам рассмотреть пример.

Пример 5.1

Данные относительно подъема возглавляют веревку, которая работала в главной шахте продукции, был получен. Эти данные представили свидетельства процесса изнашивания во время реализации задач перевозки от $24 \text{ работ} \times 103 \text{ циклы}$ к $84 \times 103 \text{ цикла}$.

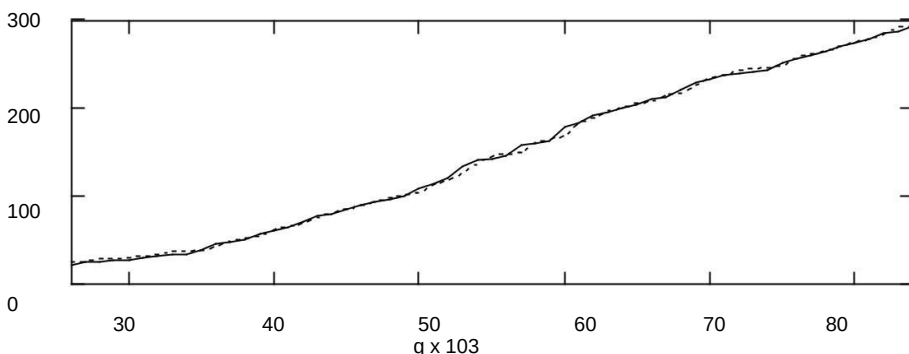
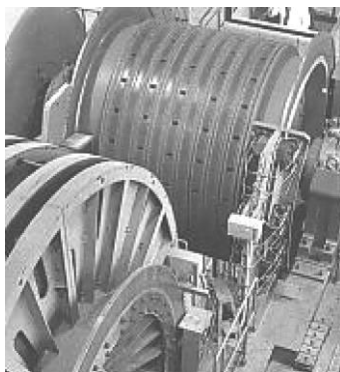


Рисунок 5.11. Эмпирические данные по общему количеству трещин (пунктир) и теоретический сюжет на основе измененной авторегрессии (сплошная линия).

Информацию об общем количестве трещин показывают на рисунке 5.11. Общее количество трещин достигло почти 300.

Ряд уравнений, позволяющих неизвестные структурные параметры в функции 5.35 быть оцененным, следующие:

$$\begin{aligned}\varphi_1 \sum_{i=3}^N \theta_{i-1}^2 + \varphi_2 \sum_{i=3}^N \theta_{i-1} \theta_{i-2} + \psi \sum_{i=3}^N q_i \theta_{i-1} &= \sum_{i=3}^N \theta_i \theta_{i-1} \\ \varphi_1 \sum_{i=3}^N \theta_{i-1} \theta_{i-2} + \varphi_2 \sum_{i=3}^N \theta_{i-2}^2 + \psi \sum_{i=3}^N q_i \theta_{i-2} &= \sum_{i=3}^N \theta_i \theta_{i-2} \\ \varphi_1 \sum_{i=3}^N q_i \theta_{i-1} + \varphi_2 \sum_{i=3}^N q_i \theta_{i-2} + \psi \sum_{i=3}^N q_i^2 &= \sum_{i=3}^N \theta_i q_i\end{aligned}\quad (5.36)$$

Решая этот набор уравнений, мы получаем эти оценки:

$$\hat{\varphi}_1 = 0.993 \quad \hat{\varphi}_2 = -0.013 \quad \hat{\psi} = 0.136$$

и так:

$$\Theta_i = 0.993 \theta_{i-1} - 0.013 \theta_{i-2} + 0.136 q_i + \chi_i$$

Теперь оценка совершенства припадка оценки может быть сделана. Последовательность остатков, определенных как различия между эмпирическими и теоретическими значениями, представлена на рисунке 5.12.

Среднее значение остатков 0.08, тогда как соответствующее стандартное отклонение 3.05.

Можно доказать, что это среднее значение отличается незначимым образом от нуля.

Давайте теперь разделим данные на два подобразца. Для первого подобразца стандартное отклонение 2.65, и для второго это 3.58. Чтобы проверить гипотезу, что различие между этими стандартными отклонениями незначимое, мы вычисляем отношение:

$$\left(\frac{3.58}{2.65} \right)^2 = 1.825$$

Соответствующее критическое значение от статистики *Распределение Фишера* - $F_{\alpha=0.05}(26, 26) = 1.86$. Нет никакой земли, чтобы отклонить гипотезу, что эти ценности незначимым образом отличаются друг от друга.

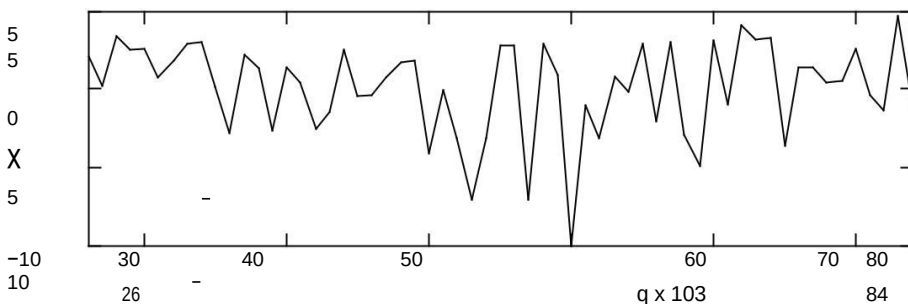


Рисунок 5.12. Последовательность остатков — различия между эмпирическими и теоретическими значениями получена из функции авторегрессии.

Наконец автокорреляция в последовательности остатков была прослежена. Автокорреляция первого и второго заказа была исследована, получив коэффициенты корреляции Пирсона -0.01 и -0.035 . Можно немедленно указать, что нет никакой автокорреляции в последовательности остатков.¹³

Кроме того, расследование гипотезы, что последовательность остатков - на самом деле реализация Гауссовского процесса, было выполнено. Примененный тест Кольмогорова не дал территории, чтобы отклонить эту гипотезу.

Поэтому можно указать, что в случае, который рассматривают измененной функцией авторегрессии, превосходный инструмент, чтобы описать эмпирические данные хорошо.

Давайте теперь посмотрим на эту модель более тщательно. У получающейся функции есть физический смысл. Левая сторона уравнения - общее количество трещин в проводах веревки, которая, очевидно, описана правой стороной этого уравнения.

Первый компонент - общее количество трещин в предыдущей записи данных $(t - 1)$ умноженный на безразмерный коэффициент, стоимость которого близка 1 (собственность функции авторегрессии).

Второй компонент - общее количество трещин в более ранней записи $(t - 2)$ умноженный на второй безразмерный коэффициент нижнего значения, чем первое в большинстве случаев. Его знак положительный почти во всех случаях; однако, иногда это может быть отрицательно.

Третий компонент - продукт определенной константы и время t посчитанный от 0 до момента, в течение которого рассматривают общее количество трещин. Поскольку у целой функции есть физический смысл, легко признать, что у ψ есть измерение скорости накопления трещин в проводах.

Эта функция имеет:

– три структурных параметра, две безразмерных константы ϕ_1 и ϕ_2 и один постоянный ψ , будучи скоростью накопления трещин в проводах; эти

константы определены с целого периода наблюдения до прошлого момента наблюдения за веревкой, и это - так называемая 'скорость исправления' (однако, у этого нет специального физического значения),

– переменная t

– две эмпирических ценности θ_{t-1} и θ_{t-2} , которые являются местными особенностями, позволяющими использовать последние записей данных общего количества трещин.

Стоит добавить, что нет никакой потребности линеаризовать уравнение 5.35. Применение метода наименьших квадратов гарантирует истинный минимум в этом отношении.

• В случае не проанализировал автокорреляции, был прослежен в измененных остатках функции авторегрессии. Однако во многих случаях автокорреляция все еще наблюдается в остатках.

После разработки измененной модели авторегрессии дальнейшее расследование было сосредоточено на подтверждении, может ли ранее установленная регулярность наблюдаться в связи с этой новой функцией.

Во-первых, тест использовался, чтобы проверить, постоянное ли различие процесса изнашивания вовремя. В большинстве случаев не было никакой земли, чтобы отклонить эту гипотезу. Это означает, что модель, описанная уравнением 5.35, следует за будущими изменениями и принимает их интенсивность во внимание.

Во-вторых, автокорреляция была исследована в остатках, где остатки представляют серию различий между реальными ценностями и теоретическими. Во многих случаях автокорреляция была указана.

Поскольку скорость накопления трещин в проводах - мера ослабления веревки, давайте определим эту скорость на основе формулы 5.35. Здесь мы имеем:

$$\frac{\theta_t - \theta_{t-1}}{\Delta t} = \varphi_1 \frac{\Delta \theta_{t-1,t-2}}{\Delta t} + \varphi_2 \frac{\theta_{t-2,t-3}}{\Delta t} + \psi = \bar{V}_{t,t-1} \quad (5.37)$$

где:

Δt - серийный диапазон

$\Delta \theta_{t-1,t-2}$ - эмпирическое приращение общего количества трещин в проводах во временном интервале $(t-2, t-1)$.

Поскольку у последовательности пунктов примечания трещин есть дискретный тип, формула 5.37 определяет среднюю скорость $V_{t,t-1}$ во временном интервале $(t, t-1)$ длины t .

Заметьте, что формулы 3.20, 5.33 и 5.34 принимают во внимание все данные, и эту информацию рассматривают однородно. У информации, полученной давным-давно, есть тот же вес как информация, отмеченная просто недавно. Но это не сохраняется на практике. Модель, описанная формулой 5.35, является на самом деле объединенной, в которой последние записи данных играют главную роль. Кроме того, у этого есть физический

смысл. Тем не менее, читатели должны понять, что формулы 3.20, 5.33 и 5.34 описывают лучшим или худшим способом общую тенденцию в процессе изнашивания веревки; тенденция, которая связана с математическим ожиданием функции. Измененная модель авторегрессии превосходна для прогноза — чтобы ответить на вопрос: что будет состояние веревки быть одним или двумя шагами вперед? Кроме того, если автокорреляция существует в модели остатков для определенной веревки, она может использоваться, чтобы улучшить прогноз и получить более точный прогноз.

Есть много достоинств измененной функции авторегрессии, как были просто указаны, однако, у нее есть один важный недостаток. Это разнородно. У процесса изнашивания веревки как вероятностный процесс есть параметр — время или количество циклов работы, выполненных веревкой. В зависимости от которого учтен параметр, существенно отличающиеся оценки его структурных параметров будут получены. Этот факт - источник разнородности.

Давайте возвратимся к понятию памяти, существующей в процессе изнашивания веревок. Если мы знаем о том, что память существует и что у процесса изнашивания есть развивающийся характер, вопрос может быть сформулирован относительно того, постоянная ли эта память вовремя. Чтобы получить ответ на этот вопрос, мы должны исследовать функцию, которая описывает эту память, и эта функция должна быть гомогенной. Это требование означает, что измененная функция авторегрессии не может использоваться. Его строительство должно измениться, чтобы выпустить его от разнородности. Это может быть сделано просто, отклонив третий компонент суммы в уравнении 5.35. Если так, у нас есть новая функция приближения, та, которая чисто авторегрессивна:

$$\theta_t = \phi_1 \theta_{t-1} + \phi_2 \theta_{t-2} + \varepsilon_t. \quad (5.38)$$

Поскольку расследования показали, что эта функция соответствует эмпирическим данным хорошо, только немного хуже, когда по сравнению с измененной авторегрессией функционируют.

Теперь мы начинаем расследования, позволяющие информацию об изменениях в силе памяти в процессе изнашивания веревки быть полученными.

От набора данных, которые были иллюстрированы на рисунке 5.10, который пять веревок были отобраны, дав большому разнообразию реализации процессов изнашивания. Они представлены на рисунке 5.13. Числа, приписанные каждой веревке, были первоначально данными во время расследований.

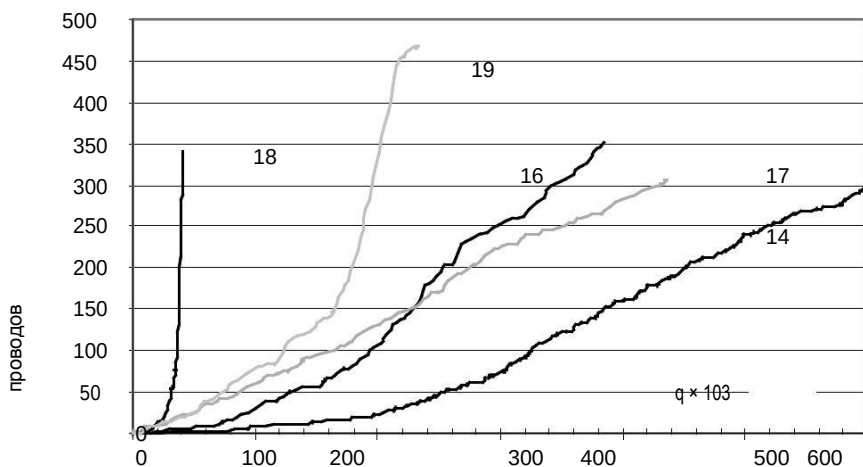


Рисунок 5.13. Диаграмма отобранных функций общего количества трещин в проводах для различной головы подъема вовлекает 60 мм в диаметре против количества циклов $q \times 10^3$ работы веревки для одной шахты.

Оценки структурных параметров функции 5.38 были вычислены, получив:

$$\text{Веревка 14: } \varphi_1 = 1,387 \quad \varphi_2 = -0,381$$

$$\text{Веревка 16: } \varphi_1 = 1,499 \quad \varphi_2 = -0,485$$

$$\text{Веревка 17: } \varphi_1 = 1,611 \quad \varphi_2 = -0,604$$

$$\text{Веревка 18: } \varphi_1 = 1,125 \quad \varphi_2 = -0,037$$

$$\text{Веревка 19: } \varphi_1 = 1,889 \quad \varphi_2 = -0,886$$

Все функции приближения соответствуют эмпирическим данным удовлетворительно.

Смотря на эти оценки параметров для формулы 5.38 некоторые замечания могут быть сделаны.

Они сформулированы, приняв во внимание результаты исследований на большем образце.

- Ценности первого пропорционального коэффициента, стоящего в общем количестве проводных трещин, отмеченных незадолго до, высоки. Они - близкий, и они всегда положительные.

- Ценности второго пропорционального коэффициента, стоящего в общем количестве проводных трещин, отмеченных в более раннее время, намного ниже, чем первый пропорциональный коэффициент. Они могут быть или положительными или отрицательными.

Эти наблюдения усиливают аргумент, что память существует в процессах изнашивания веревок.

Чтобы проверить гипотезу относительно того, стабильна ли память или не в данном процессе изнашивания, следующее выражение было вычислено:

$$\frac{100\varphi_1(q)n_{q-1}}{\varphi_1(q)n_{q-1} + |\varphi_2(q)|n_{q-2}} \% \quad (5.39)$$

для последовательности общего количества трещин для каждой веревки. Этот фактор дает информацию о проценте участия первого параметра в общем количестве трещин во время расследования. Результатам вычислений показывают 5.14–5.18 в цифрах.

Анализируя эти числа некоторые комментарии могут быть сделаны:

- во время стадии начала, несмотря на то, что процесс переезжает определенный период и характеризуется высокой дисперсией, выглядит, как будто память стабилизируется
- после этого инициирования сила памяти выглядит стабильной

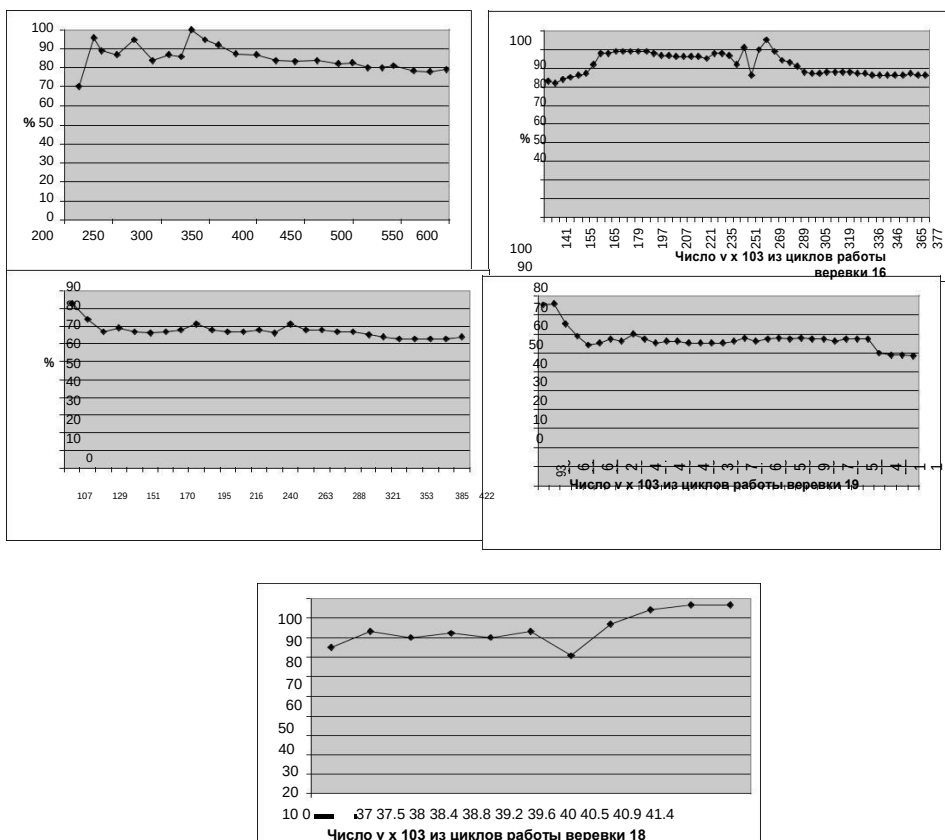


Рисунок 5.14-5.18. Процент участия первого параметра в общем количестве трещин во время расследования для исследуемых веревок

– во всех случаях проанализировал состояние веревки в данный момент, зависит сильно от состояния прежде, и это влияние посчитано приблизительно в 80%

– остающиеся 20% принадлежат второму компоненту.

После тщательного исследования сюжета, показанного в последней из этих пяти диаграмм (рисунок 5.18), может быть получена некоторая привлекательная информация. Эта диаграмма касается веревки наиболее быстро растущее число трещин. Статистический примененный тест дал территорию, чтобы отклонить гипотезу, указав, что сила памяти постоянная ввремя против альтернативной гипотезы, что это увеличивается. Давайте сделаем более проникающую всестороннюю экспертизу.

Оценки структурных параметров функции ϕ_1 и ϕ_2 были закончены для последовательности общего количества трещин. Результаты вычислений показывают на рисунке 5.19.

Это число содержит некоторую интересную информацию. Сила памяти кажется стабильной до момента выполнения немного меньше чем 40 циклов работы $\times 103$. Тогда существенное изменение произошло — важность первого компонента, решительно увеличенного и ценность второго, измененного на отрицание. У этого типа модификации должно быть физическое образование. Гипотеза может быть сформулирована, что, возможно, новый компонент в процессе изнашивания веревки только что появился.

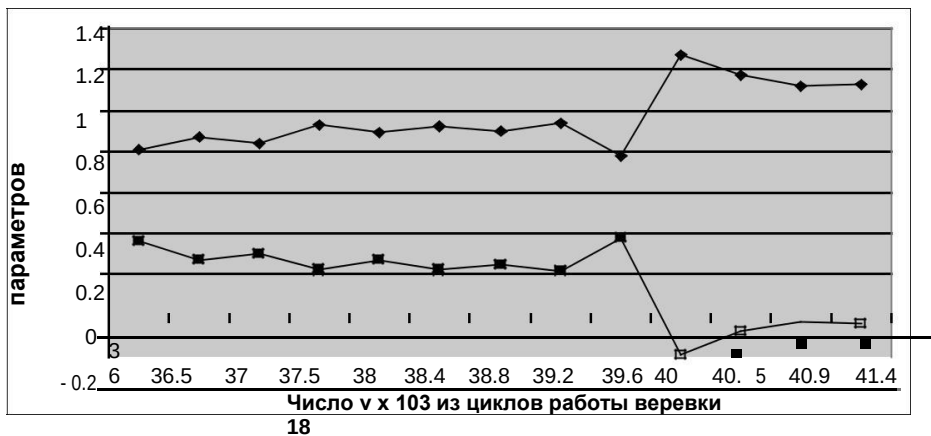


Рисунок 5.19. Процент участия первых и вторых параметров в общем количестве трещин во время расследования для веревки 18.

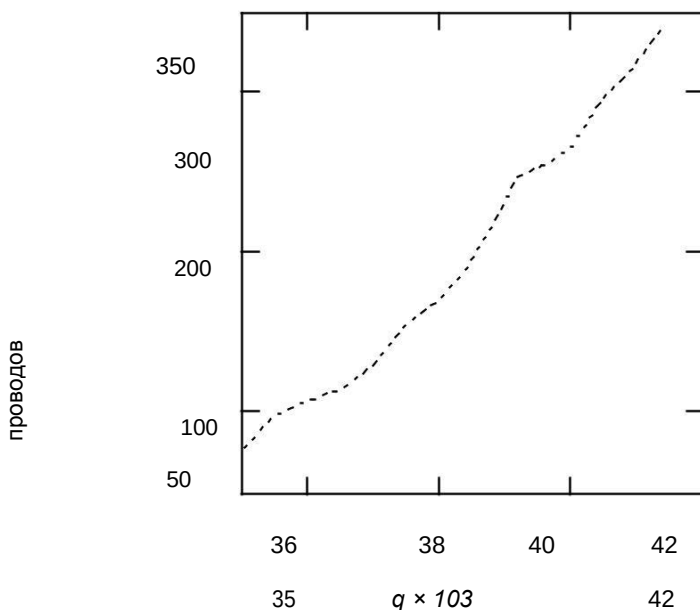


Рисунок 5.20.Общее количество трещин в проводах для веревки № 18 против количества циклов $q \times 103$ работы веревки.

Давайте посмотрим более тесно на ухудшение веревки, как выражено количеством отмеченных трещин. Рисунок 5.20 иллюстрирует курс функции: общее количество проводных трещин против количества циклов работы, выполненных в более точной форме, чем, показали на рисунке 5.13.

Стоит заметить, что нет никакого признака в этом числе, что что-то произошло в процессе изнашивания. Это означает, что недостаточно иметь отчеты на совокупном количестве трещин в проводах веревки. Более тонкий анализ должен быть сделан, чтобы получить информацию о явлениях, которые могут происходить. Автор не обладает большей информацией в отношении этого примера. Однако управление подземной шахтой решило удалить эту веревку из дальнейшей операции немного позже. Веревка выполнила 41,4 цикла работы $\times 103$. Возможность не может быть исключена, что процесс изнашивания веревки вошел в четвертую стадию своего курса.

Этот пример подтверждает заявление, которое было сделано в конце Главы 2 — статистическая диагностика может дать важную информацию; информация, которую иногда трудно получить по-другому.

5.3.4 Надёжность веревки

Согласно добывающим инструкциям веревка головы подъема должна быть забрана из дальнейшей операции, если потеря в разделе переноса груза больше, чем решительная стоимость скажем 20%, при условии, что эти проблемы потерь определенная решительная длина веревки, посчитанная в количестве спирали веревки, ведут. Обозначьте это число k_r .

Предположите, что веревка металлической области S_n дана. Предположите далее, что веревка построена из проводов идентичного диаметра d_d , чтобы получить больше коммуникативных результатов. Рассмотрите два крайних случая — сначала, минимальная целая жизнь веревки. Этот случай отмечен, если все первые трещины в проводах расположены на определенном разделе веревки k_r спирали, ведет. В этом случае длина веревки незначущая; однако, чем дольше веревка, тем ниже вероятность возникновения такого события. Вычислите наименьшее количество числа $\varphi_{\min}$ трещин в проводах. Следующее уравнение держится:

$$\varphi_{\min} = \frac{0.2S_n}{\pi \frac{d_d^2}{4}} = 0.255 \frac{S_n}{d_d^2}. \quad (5.40)$$

Обратите внимание, что, что появление такого события может быть оценено как наличие очень низкой вероятности. Если, прежде чем возникновение этого количества трещин на разделе веревки k_r спирали ведет, некоторые трещины отмечены на других разделах веревки, это событие будет оценено как более вероятное. После этой цепи рассуждений вывод может быть сделан, что события, когда $\varphi_{\min} + 1$, $\varphi_{\min} + 2$, $\varphi_{\min} + 3 \dots$ количества трещин вызывают отказ в веревке, будут все более вероятными. Но это держится только до определенного момента.

Рассмотрите второй крайний случай — максимальная жизнь веревки.

$$\varphi_{\max} = \frac{i_s}{k_r} (\varphi_{\min} + 1) + 1 \quad (5.41)$$

$$\varphi_{\max} = \frac{i_s}{k_r} (\varphi_{\min} + 1) + 1 \quad (5.41)$$

то, где i_s - общее количество спирали, ведет веревки.

Снова, такое событие будет оценено как чрезвычайно редкое. Все случаи, куда веревка удалена из подъем с меньшим числом трещин в проводах $\varphi_{\max}$. — 1, $\varphi_{\max}$. — 2, $\varphi_{\max}$. — 3 ... может быть оценен как более вероятный. Снова, только до определенного момента.

Поэтому, рассматривая вероятность отказа в веревке как функция общего количества трещин в проводах, мы можем заявить что:

— эта функция вероятности обладает поддержкой [$\varphi_{\min}$, $\varphi_{\max}$.]

– эта функция вероятности увеличивается с левой границы стороны до определенного момента и затем уменьшает достижение в пункте $\varphi_{\max}$. его стоимость около нуля.

Примите теперь, когда наши соображения связаны с процессом изнашивания веревки меня вид исключительно.

Поскольку нет никакой причины отличить любой раздел веревки или рассмотреть любой стохастический 'механизм', нарушающий процесс накопления трещин в проводах, это распределение вероятности - симметричное математического ожидания:

$$E(\vartheta) = \frac{1}{2}(\varphi_{\min} + \varphi_{\max}) \quad (5.42)$$

где ϑ - случайная величина, обозначая общее количество трещин в проводах во время отказа в веревке.

Как был доказан Копоциньским (Копоциньский и Чаплицкий 2007), распределение вероятности случайной переменной ϑ может быть приближено нормальным распределением. Если так, соответствующая плотность распределения вероятности определена образом:

$$f_{\vartheta}(\varphi) = \frac{1}{G\sigma_{\varphi}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\varphi - \bar{\varphi})^2}{2\sigma_{\varphi}^2}} \quad \varphi_{\min} \leq \varphi \leq \varphi_{\max} \quad (5.43)$$

где G - нормализация, постоянная, потому что у этой функции есть ограничения на ее существование. Однако это было доказано (Чаплицкий 2007) что практически $G = 1$.

Поскольку предполагалось, что процесс изнашивания веревки имеет меня вид, трещины в проводах равномерно распределены в стохастическом смысле по общей длине веревки. Если есть некоторые разделы со значительно более высоким количеством трещин, удаление веревки происходит ранее в среднем. Таким образом заключение может быть сформулировано, что, если трещины в проводах регулярно распределяются по общей длине веревки, количество трещин достигает стохастического максимума. Если эта регулярность будет нарушена, она вызовет более короткое, вовлекают жизнь в стохастической логике. Это волнение также увеличивает дисперсию случайной переменной ϑ . Кроме того, для однородного распределения трещин у плотности распределения, показанной на рисунке 5.9а, будет нормальный характер. Для более нерегулярного распределения трещин это распределение становится асимметричным, как показан на рисунке 5.9а.

Но давайте сохраним предположение о процессе изнашивания веревки меня видом. Определив распределение вероятности общего количества трещин во время отказа в веревке (из-за потери области переноса груза на определенном разделе веревки), функция выживания может быть определена на основе известной формулы в теории надежности:

$$R_{\Phi}(\varphi) = P\{\Phi \geq \varphi\} = 1 - \int f_{\Phi}(\varphi) d\varphi$$

который уступает:

$$R_{\Phi}(\varphi) = \frac{1}{\sigma_{\Phi} \sqrt{2\pi}} \int_{\varphi}^{\infty} e^{-\frac{(\varphi - \bar{\varphi})^2}{2\sigma_{\Phi}^2}} d\varphi \quad (5.44)$$

Сюжет в качестве примера этой функции для данной веревки показывают на рисунке 5.21. Данные, позволяющие сюжет быть построенным, были взяты от добывающей практики.

Функция опасности, очевидно, определена формулой:

$$\lambda(\varphi) = f_{\Phi}(\varphi) / R_{\Phi}(\varphi). \quad (5.45)$$

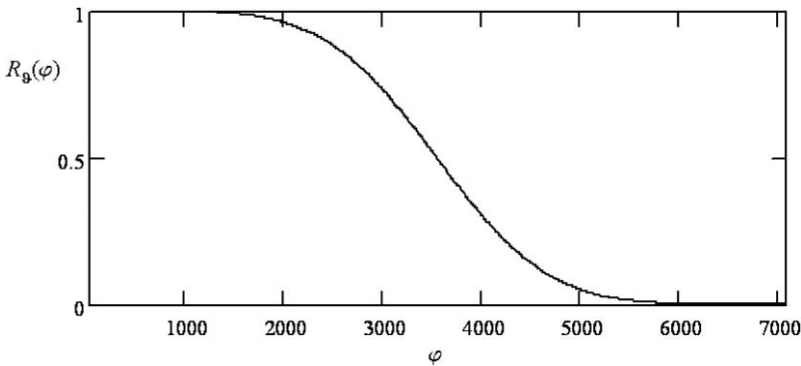


Рисунок 5.21. Пример надежности веревки функционирует против общего количества Φ трещин в проводах.

Обратите пристальное внимание на рисунок 5.21. Учет того факта, что должен быть высокий уровень безопасности в операции подъема, мы склонны принять только высокие ценности функции надежности. Если так, 2 000 трещин в проводах выглядит приемлемым при условии, что никакие разделы с высоким накоплением трещин не наблюдаются. Но кажется, что это заключение должно быть подтверждено некоторыми результатами дальнейших расследований (пренебрегающий здесь другими формами диагностики веревки).

Заметьте, что текущая переменная здесь φ — общее количество трещин. Практически это неудобно. Лучшее решение состоит в том, чтобы преобразовать эту переменную в количество выполненных циклов работы, q , или время t . И здесь у нас есть проблема, которой функция приближения должна быть применена из числа функций 3.20, 5.33 и 5.34.

Мы можем провести наши соображения после выбора функции, для которой у мер совершенства приближения есть большинство удобных ценностей.

Давайте предположим, что лучшая функция - показательная, формула 5.34, и параметр процесса - q . Введение этой функции требует определения новых параметров и новой функции вероятности. Поддержка этой функции определена ограниченными ценностями:

$$q_{\min} = \frac{1}{2\beta_0} \left(-\beta_1 + \sqrt{\beta_1^2 + 4\beta_0 \ln \frac{\varphi_{\min}}{\beta}} \right) \quad (5.46)$$

$$q_{\max} = \frac{1}{2\beta_0} \left(-\beta_1 + \sqrt{\beta_1^2 + 4\beta_0 \ln \frac{\varphi_{\max}}{\beta}} \right) \quad (5.47)$$

Теперь, создание плотности распределения вероятности случайной переменной q возможно. Применение известных принципов теории вероятности (см., например, главу 5-3 Papoulis 1965 года), мы имеем:

$$h(q) = \frac{\beta \sqrt{\beta_1^2 + 4\beta_0 q (\beta_0 q + \beta_1)}}{\sigma_\varphi \sqrt{2\pi}} \exp \left(\beta_0 q^2 + \beta_1 q - \frac{[\Theta(q) - \bar{\Theta}]^2}{2\sigma_\varphi^2} \right) \quad (5.48)$$

Функция надежности, очевидно, определена образом:

$$R(q) = 1 - \int_{q_{\min}}^q h(q) dq \quad (5.49)$$

Эти функции представлены 5.22 в цифрах и 5.23 для того же примера. Смотря на эти сюжеты, одна информация кажется ясной — чтобы гарантировать высокий уровень в безопасности в операции веревки, веревка должна быть забрана после того, как выполнение 60 циклов работы $\times 103$ или более точной и проникающей диагностики веревки должно быть развернуто.

Возможно, диагностика должна делаться более часто. От обеих фигур тот же факт может быть указан — после 60 000 циклов, которые функция надежности значительно уменьшает, и функция опасности начинает расти интенсивно. В этом количестве циклов работы есть 1,34 трещины $\times 103$ в провода.

Есть также различный способ оценить срок службы, посчитанный в количестве циклов работы веревки (см., например, Feurer 1994, Бек и Брим 1995, Брим 2000), но этот метод, как правило, для инженеров и принимает во внимание технические параметры целого подъема, в котором работает веревка, и длительность зависит от многих констант ('факторы'), определенные для каждого случая, который рассматривают. Есть также термин 'корреляция',

используемая в связи с этим подходом, но не ожидайте анализ корреляции *sensu stricto*. Этот термин не определен и имеет скорее более разговорный, чем научное значение.

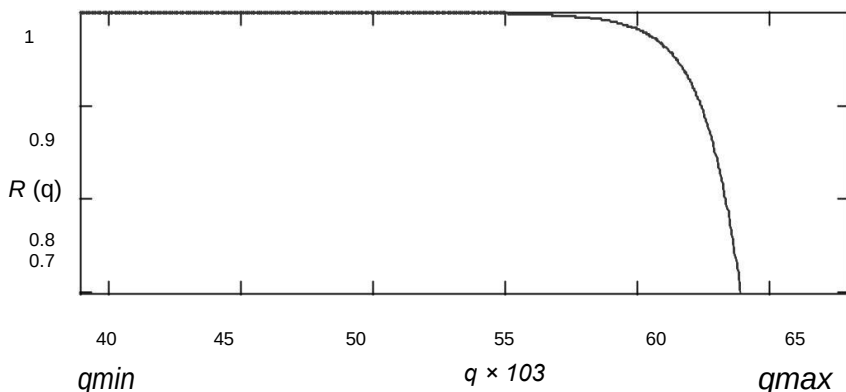


Рисунок 5.22. Пример надежности веревки функционирует против общего количества циклов работы веревки q .

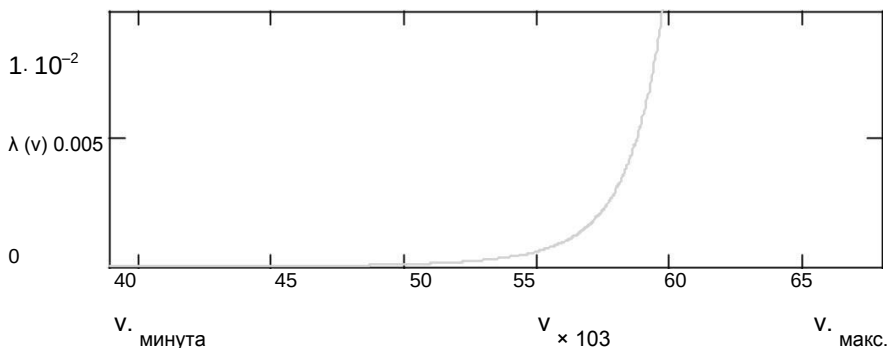


Рисунок 5.23. Пример опасности веревки функционирует против общего количества циклов работы веревки q .

Это число значительно ниже, чем полученный из анализа функции $R(\phi)$. В случае, который рассматривают 30%-м коэффициентом изменчивости, был принят, следовательно это может быть оценено как осторожный вывод.

Эти результаты соответствуют информации, взятой из теории надежности. В польском Руководстве Надежности (Мигдальский 1982 р. 86) состояние Бобровского: 'Функция опасности в случае нормального распределения медленно увеличивается для маленьких ценностей [здесь, небольшое количество циклов работы] и близкое математическое ожидание начинает расти интенсивно и пробегает к наклонной асимптоте. Наклонный угол этой асимптоты больше для меньшего стандартного отклонения... поэтому,

нормальное распределение - надлежащий инструмент, чтобы описать время способности объекта выполнить ее функцию в случае, когда неудачи [здесь, трещины] вызваны, постепенно происходя необратимые изменения стареющего характера'. Можно найти подобное заявление в монографии Гньеденко (1965).

Чтобы улучшить этот способ рассуждать, соображение может быть направлено к отобранной функции приближения, и может быть сделан всесторонний анализ остатков. Информация, полученная из таких аналитических разрешений, как правило, лучшие результаты, которые будут получены.

В конце этой части наших соображений должно быть сделано общее замечание. Всеми мерами по надежности, которые были получены, являются рациональные при условии, что процесс изнашивания веревки имеет меня вид только. Поэтому вышеупомянутый анализ можно рассматривать как условный, и меры по надежности нужно также рассмотреть как условные функции.

Нужно ясно указать здесь, что у сформулированной рекомендации — после содержащего анализа надежности — на отказе в веревке под следствием или на изменениях в диагностике веревки нет абсолютного характера. Это может даже произойти, что веревка будет удалена из операции ранее чем необходимый; однако, это событие может быть оценено как наличие низкой вероятности. Необходимо помнить, что у явлений, продуманных здесь, есть стохастический характер. Лучшее решение состоит в том, чтобы объединить информацию о состоянии веревки на основе оценок из других источников, которая является от электромагнитных исследований, визуальных и эмпирически-теоретических.

Рассмотрите теперь случай, где процесс изнашивания веревки входит в следующую стадию и становится процессом II видов.

Есть два способа признать, что процесс изнашивания веревки на стадии типа II. Первый метод полагается на тщательный анализ диаграммы, показывающей распределение трещин вдоль веревки. Если данные будут заслуживающими доверия, будет легко найти раздел веревки, где накопление трещин значительно выше, чем это для остальной части веревки.

Если данные неполные, и информация в форме общего количества трещин против времени, иногда возможно признать изменения в скорости увеличения количества трещин. К сожалению, в некоторых случаях это изменение в скорости гладкое не радикальное. Анализ изменений этой скорости, определенной формулой 5.37, был бы выгоден здесь.

Давайте теперь проанализируем данные относительно процесса изнашивания веревки 54 мм в диаметре и 330 м в длине (L). Данные представляют общее количество трещин против количества циклов работы, выполненных подъемом (см. рисунок 5.24). В этом числе представлены две функции приближения. Легко видеть, что обе функции очень плохи в применении и должны быть отклонены.

Рассмотрение более тщательно курса эмпирических ценностей, мы можем обнаружить, что после того, как выполнение приблизительно 160 работ $\times$ 103

периодически повторяет скорость увеличения количества трещин, значительно увеличилось. Гипотеза может быть сформулирована, указав, что физический источник производит это явление. Вероятно, что стадия меня, который доброе изнашивание веревки закончило и II стадий, началась.

Если эта гипотеза сформулирована тогда: – тщательный визуальный анализ веревки рекомендуется, чтобы проследить возможно более слабый раздел – если такой раздел определен, частое осторожное наблюдение настоятельно рекомендовано.

Прежде чем дальнейший анализ может быть проведен, стоит понять, что, если записи трещин сделаны для каждых 10 м длины веревки, трудно получить четкую картину ситуации. Горная промышленность инструкций указывает, например, что веревка должна быть удалена из дальнейшей эксплуатации, если потеря области переноса полной нагрузки веревки составляет 20%, или больше на веревке 5–6 спираль ведет, и раздел веревки на 10 м содержит несколько таких *разделов критерия*. Это - отдельная проблема построить критерий функция,

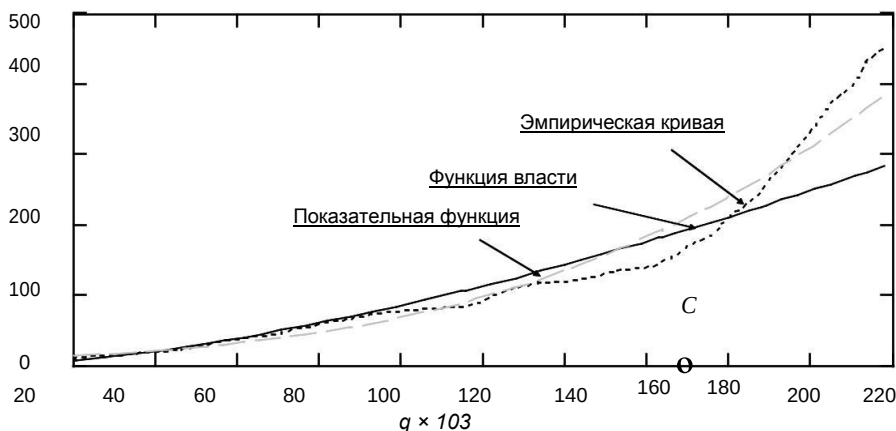


Рисунок 5.24. Эмпирическая кривая общего количества трещин в проводах против номера q выполненных циклов работы и функций приближения.

чтобы оценить, какое количество трещин в разделе веревки на 10 м указывает, что у нас есть значительное накопление трещин.

Как был указан, если новый этап в процессе изнашивания веревки начинается, новая функция приближения должна быть применена. Поэтому одна функция должна быть применена до момента возникновения пункта С на рисунке 5.24 и второй функции приближения от этого пункта. В обоих случаях показательная функция 5.34 была применена.

Делая необходимые вычисления каждый получает: – для первой 31 пары (q , θ) оценки структурных параметров функции: $\hat{\alpha} = 5.22$; $\hat{\beta}_0 = -1.1 \times 10^{-4}$; $\hat{\beta}^* = 0.038$ и функция обозначен M_1 ; посмотрите рисунок 5.25. – еще для 14 пар,

которые наблюдались, оценки: $\beta^{\wedge} = 0.34$; $\beta^{\wedge}_0 = -6.85 \times 10^{-5}$; $\beta^{\wedge}_1 = 0.048$; для функции, обозначенной M_2 ; посмотрите рисунок 5.26.

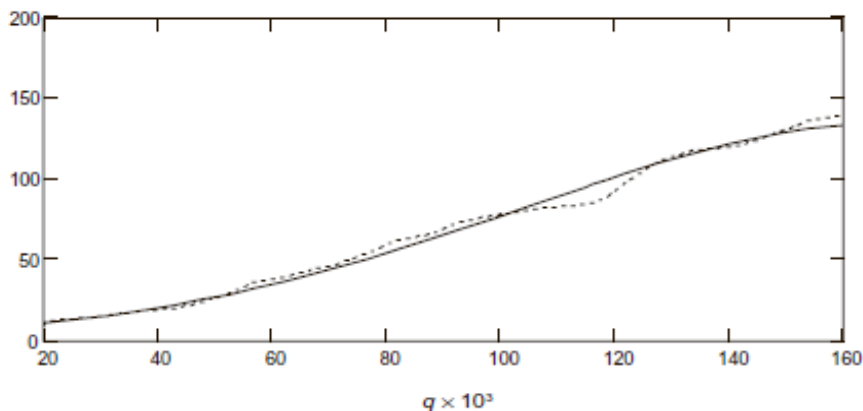


Рисунок 5.25. Общее количество трещин против номера q обрабатывает циклы к пункту С: пунктир - эмпирические ценности, и сплошная линия - теоретическая показательная функция M_1 .

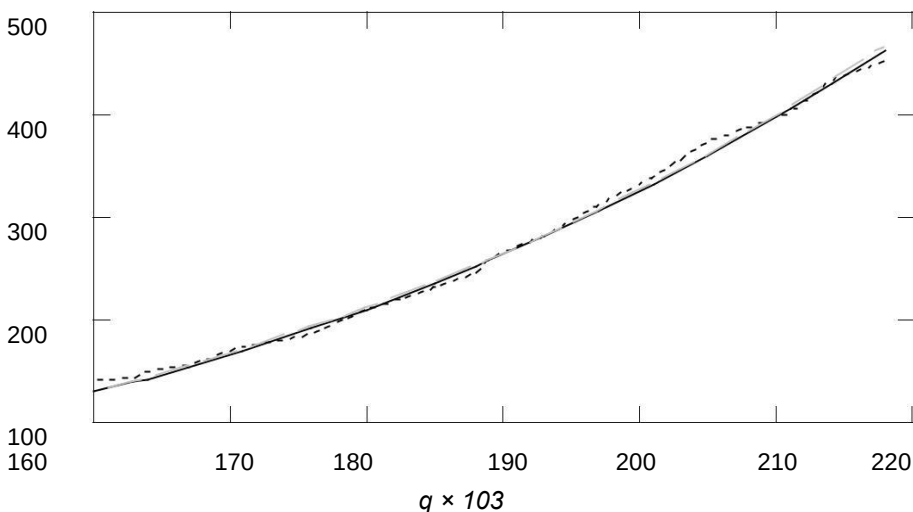


Рисунок 5.26. Общее количество трещин против номера q циклов работы от пункта С: пунктир - эмпирические ценности, сплошная линия - теоретическая показательная функция M_2 , и пунктирная линия - теоретическая функция власти.

Смотря на эти числа, мы можем оценить это, совершенство подгонки между теоретической функцией и описанием эмпирических ценностей очень высоко.

Давайте теперь рассмотрим последовательность остатков для первой функции. Это иллюстрировано на рисунке 5.27.

Анализ этого сюжета, легко видеть это, когда количество циклов работы, выполненных увеличениями веревки, разногласие между эмпирическими ценностями и теоретическими значениями увеличивается. Можно предположить, что должен быть определенный физический процесс, производящий эту дисперсию. Этот процесс предшествует качественному изменению, которое происходит в пункте С.

Давайте теперь рассмотрим функцию M_2 . Поскольку это касается II стадий изнашивания веревки, ограниченные ценности для чисел выполненных циклов работы должны быть найдены. К сожалению, показательная функция бесполезна — нет никакого максимального значения. Поэтому функция приближения должна быть заменена. Следовательно, функция власти была введена. Оценки структурных параметров были следующие:

$$\hat{\delta} = 9.36 \times 10^{-10} \quad \text{and} \quad \hat{\chi} = 4.15$$

и последовательность остатков показывают на рисунке 5.28.

Расследование этих остатков не дает территории, чтобы отклонить гипотезу, что их последовательность постоянная относительно q , хотя дисперсия между эмпирическими и теоретическими значениями высока. Но помните, что во время этой стадии значительно более высокие ценности для общего количества трещин наблюдаются. Кроме того, автокорреляция в последовательности была исследована, и никакая значительная автокорреляция не была найдена. Функция приближения выполняет требования.

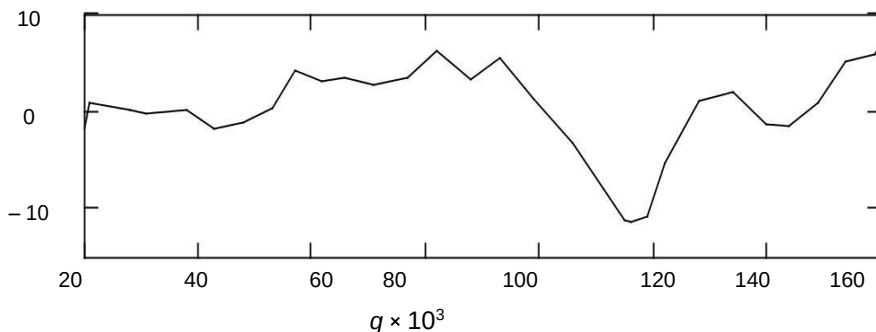


Рисунок 5.27. Остатки в течение первого периода, который рассматривают — к пункту С.

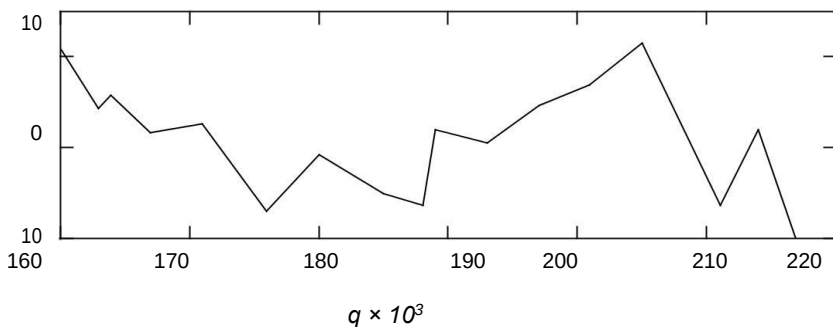


Рисунок 5.28. Остатки в течение второго периода, который рассматривают — от пункта С.

Теперь мы произведем оценку надежности для исследуемой веревки. Мы знаем, что распределение вероятности общего количества трещин в проводах во время отказа в веревке от обслуживания может быть приближено Гауссовским распределением при условии, что процесс изнашивания веревки имеет меня вид. В случае, который рассматривают здесь, принята во внимание следующая стадия процесса изнашивания веревки.

От лекции, читавшей Копоциньским (2007), вывод может быть сделан, что распределение случайной переменной интереса может быть приближено здесь распределением суммы случайных переменных, обычно распределенных. Таким образом у нас все еще есть Гауссовское распределение соответственно измененных параметров. Так, предыдущий способ рассуждать может быть повторен.

Для этого метода можно указать, что формулы для определения ограниченных ценностей $\theta_{\text{минута}}$ и $\theta_{\text{макс}}$ остаются неизменными. Предположите дополнительно, что среднее значение - все еще среднее арифметическое ограниченных ценностей. Основное изменение касается скорости увеличения количества трещин. В первой стадии процесса изнашивания веревки эта скорость медленная; на второй стадии скорость высока.

Давайте оценим массу вероятности плотности распределения случайной переменной: общее количество трещин в проводах до момента появления пункта С.

Ограниченные ценности следующие:

- Ограниченное общее количество трещин: $\theta_{\text{мин}} = 52$ $\theta_m = 136$

- Соответствующие числа циклов работы с этими ценностями, от формул 5.46 и 5.47:

$$q_{\text{мин}} = 78.2 \times 10^3 \quad q_m = 159 \times 10^3$$

Таким образом исследованная масса определена формулой:

$$\int_{q_{\min}}^{q_m} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\theta(q) - \bar{\theta}]^2}{2\sigma^2}\right) dq \quad (5.50)$$

и приблизительно равные 2×10^{-5} .

Этой массой можно пренебречь.

Заключение: главная фаза изнашивания веревки имеет II видов изнашивания усталости, и эта фаза должна быть основным моментом дальнейшего интереса.

Теперь рассмотрите функцию надежности веревки. Ограниченные ценности для общего количества трещин:

$$q_m = \left(\frac{\theta_m}{\hat{\delta}}\right)^{1/\hat{\chi}} = 162 \times 10^3 \quad q_{\max} = \left(\frac{\theta_{\max}}{\hat{\delta}}\right)^{1/\hat{\chi}} = 424 \times 10^3 \quad (5.51)$$

Теперь постройте плотность распределения вероятности случайной переменной для количества циклов работы, для которых процесс накопления количества трещин определен функцией власти с параметрами, которые были найдены, который является:

$$\hat{\delta} = 9.36 \times 10^{-9} \quad \text{и} \quad \hat{\chi} = 4.15$$

Делая все необходимые математические преобразования каждый получает:

$$h(q) = \frac{\delta\chi}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{1}{q^{1-\chi}} \exp\left(-\frac{[\delta q^\chi - \bar{\theta}]^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5.52)$$

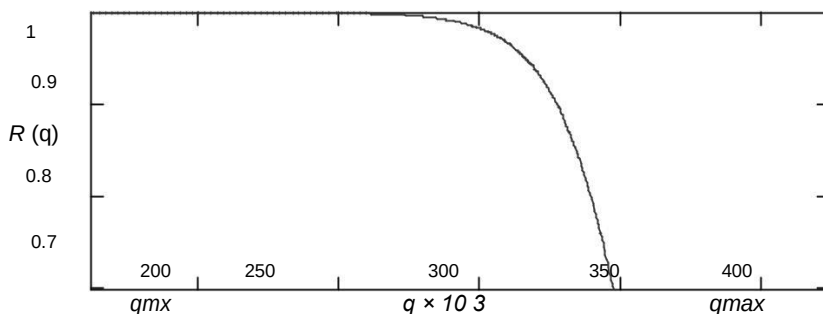


Рисунок 5.29. Функция надежности R веревки, рассматриваемой против номера q циклов работы.

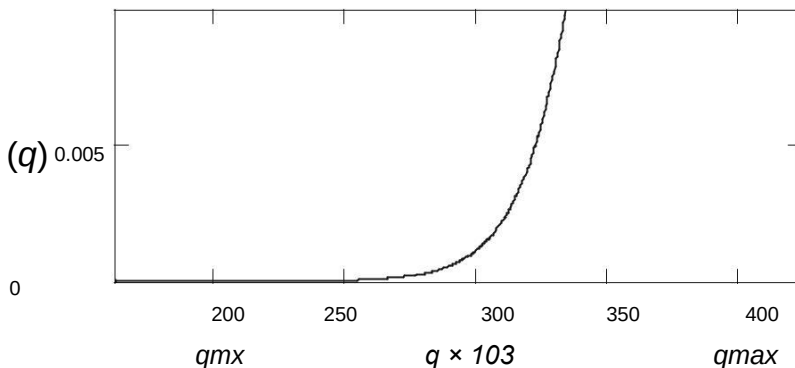


Рисунок 5.30. Функция опасности λ веревки, рассматриваемой против номера q циклов работы.

Рисунок 5.29 иллюстрирует функцию надежности формулы 5.49, и соответствующую функцию опасности показывающую на рисунке 5.30.

Анализируя оба сюжета легко заметить, что веревка может выполнить приблизительно 270×103 цикла. Приблизительно после 300×103 цикла изменения ситуации — функция выживания начинает понижаться решительно, и функция опасности значительно увеличивается. В зависимости от состояния веревки, исследуемой, решение должно быть принято или относительно забирающий эту веревку из дальнейшей операции или циклов соответствует в общей сложности 1 750 трещинам в проводах.

Одно важное заявление должно быть повторено еще раз: все эти соображения правильны при условии, что во время визуальной и электромагнитной диагностики никакой раздел веревки спиральной веревки 5–6 не ведет со многими трещинами, уменьшающими область переноса груза на 20%, или больше было найдено.

Интересная особенность и с теоретических и с эмпирических точек зрения является средней целой жизнью оставлений веревки. Это — местная особенность, условная. Его значение следующие. Исследуемая веревка выполнила некоторое количество циклов и хороша для дальнейшей операции. Обозначьте это количество циклов q_h . Интересное место — ожидаемое остающееся время действия веревки. Давайте обозначим это среднее число $E\{M(q)_h\}$. Использование известных преобразований функции надежности (см., например, Гертзбах и Кордонский 1966) мы добиваемся:

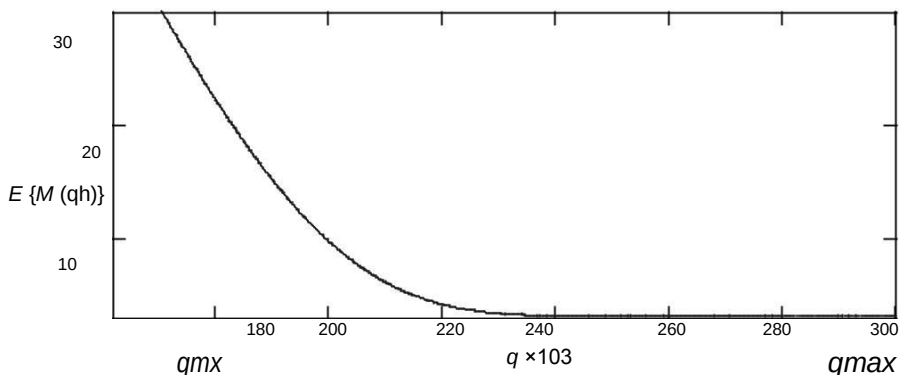


Рисунок 5.31. Ожидаемая остающаяся целая жизнь $E \{M(q)_h\}$ веревки, рассматриваемой против номера q циклов работы.

Здесь снова — подобный функциям надежности и опасности — нет никакой возможности получения явной математической формы этой функции. Однако при помощи некоторых компьютерных программ диаграмма этого математического ожидания может быть оттянута. Это показывают на рисунке 5.31.

Проанализируйте этот сюжет тщательно. Ожидаемая остающаяся целая жизнь веревки уменьшается по экспоненте, который должен был ожидаться. Это означает, что пункт существует, от которого, это может быть предположено, что остающаяся целая жизнь постоянная. Отношения, иллюстрированные на рисунке 5.31, являются характерным. Поэтому информация, содержащаяся в этой картине, — то, что после выполнения приблизительно 240×10^3 цикла остающаяся целая жизнь немного выше 3 000 циклов 15

Выглядит, как будто с этого момента вовремя диагностика веревки должна быть изменена. Кроме того, на основе рисунка 5.31 предложение может быть сформулировано что, если решение принято, чтобы продолжить использовать эту веревку, то, возможно, самый удобный план действий должен будет диагностировать эту веревку меньше чем для 3 000 циклов и, возможно, более часто. Это число (3 000) можно рассматривать как оценку на основе вышеупомянутого анализа.

Поскольку условие было создано, где эти соображения правильны, имея в виду соглашение, что нет раздела веревки (спираль веревки 5–6 ведет) с потерей груза, несущего область не меньше чем 20%, можно заявить, что эти особенности надежности — условные. Поэтому тщательное наблюдение должно сначала быть сделано видеть, произошел ли такой раздел веревки и, в противном случае могут ли эти соображения быть использованы.

Впервые эмпирические и теоретические исследования позволили создание функции надежности для веревки, которая должна быть забрана из дальнейшей операции, потому что степень ее деградации достигла предела, определенного, добыв инструкции. Момент удаления веревки - стохастический, но распределение вероятности жизни веревки было найдено, который допускает создание дальнейших особенностей надежности, таких как функция опасности и функция для средней целой жизни оставлений веревки. Это позволяет рекомендациям быть сформулированными для того, когда веревка должна быть забрана из дальнейшей операции или когда метод диагностики веревки должен быть изменен. Кроме того, используя всестороннее эмпирически-теоретическое рассуждение, возможно сформулировать предложение относительно того, чем временной интервал должен быть между соседними диагностическими действиями.

Обычно результаты этих соображений нужно рассматривать как дополнительный инструмент, чтобы сопровождать результаты визуальных и электромагнитных исследований.

Нотабене, когда веревка выполнила 218×103 цикла и 452 трещины в проводах, было отмечено, управление шахтой решило удалить веревку из дальнейшей операции.

Также нужно подчеркнуть, что в некоторых случаях ход процесса изнашивания веревки может отличаться. Для некоторого строительства веревки никакие эффекты процесса изнашивания не видимы в течение относительно длительного периода времени, но когда трещины в проводах начинают происходить, их интенсивность высока с самого начала, и веревка должна диагностироваться более часто, чем прежде. Очень часто в скором времени после того, как первые трещины появляются, веревка должна быть удалена.

Кроме того, в регулярном ходе процесса изнашивания веревки некоторые периоды могут быть отмечены, когда, исследуя трещины в проводах исключительно, выглядит, как будто процесс изнашивания задерживает. Кажется, что веревка *сопротивляется* изнашиванию — количество трещин медленно увеличивается, но после короткого периода времени выглядит, как будто это *бросает* приводить к внезапному увеличению количества трещин. Причина этого явления все еще неизвестна 16

Однако стоит наконец помнить, что транспортировка веревки - один из самых безопасных методов смещения.

- Автор не собирается говорить откровенно, что это иногда связывается с погрешностью записей, сделанных персоналом шахты.

ГЛАВА 6

Системы машин, работающих параллельно



В горной промышленности есть несколько систем машин, работающих параллельно в чувстве надежности — то есть, машины работают друг независимо от друга. На вышеупомянутой фотографии есть два типа систем оборудования, работающих параллельно явно видимым. Они - система бурильщиков и система совков 1 власти

Для системы этого вида у двух факторов есть большое значение для процесса эксплуатации и способа, которым это проанализировано и вычислено. Они:

- Однородность системы
- Существование запасных машин, которые могут заменить провальные единицы.

Однородность обычно понимается как качество того, чтобы быть подобным или сопоставимым натуральной или природе. Однородность системы здесь понята как однородность машин — то есть, их функционирование - то же, они выполняют идентичные обязанности, и их основные параметры отличаются случайным способом только.

Давайте предположим, что система, которую рассмотрим:

- Гомогенный
- Один, для которого никакие запасные единицы не доступны.
- На самом деле есть третья система оборудования на этой фотографии — системе вспомогательных машин — но трудно видеть их.

Если так, применяя основные принципы надежности мы можем определить распределение вероятности номера D машин в состоянии работы. Это число - очевидно, случайная переменная. Это распределение определено формулой:

$$P\{D = d\} = P_d^{(p)} = \binom{n}{d} A^d (1-A)^{n-d} \quad d \leq n \quad n \geq 2 \quad (6.1)$$

где:

$P_d^{(p)}$ - вероятность, что d машины находятся в состоянии работы (верхний индекс (p))

n - количество машин в системе.

Легко определить, что это - биномиальное распределение, описывающее количество успехов в n независимых испытаниях. Два основных статистических параметра — среднее и стандартное отклонение — определены формулами:

$$E\{D\} = nA \quad (6.2)$$

$$\sigma\{D\} = \sqrt{nA(1-A)} \quad (6.3)$$

Давайте переместим наше внимание в техническую область. Формула 6.2 определяет среднее количество машин в состоянии работы в системе, и формула 6.3 дает соответствующее среднее отклонение случайной переменной D относительно среднего значения.

Вероятностью события, что все машины находятся в состоянии, дают:

$$P_{d=n}^{(p)} = A^n$$

и это означает полную продукцию системы из-за полной системной доступности.

Если последующие машины находятся в состоянии неудачи, ухудшение доступности системы видимо. Обратите внимание, что доступность этой системы не нулевой тип, но это - функция количества машин в состоянии. Рисунок 6.1 иллюстрирует распределения вероятности количества машин в состоянии работы для различных чисел машин в системе ($n = 5, 7$ и 9), где установившееся наличие машин = 0.700.

Заметьте, есть определенная стохастическая тонкость. Обычно, двучленное распределение вероятности связано с так называемым экспериментом Бернулли, и это определяет вероятность возникновения успехов в последовательности n независимых экспериментов 0/1, каждый из которых уступает

0.400

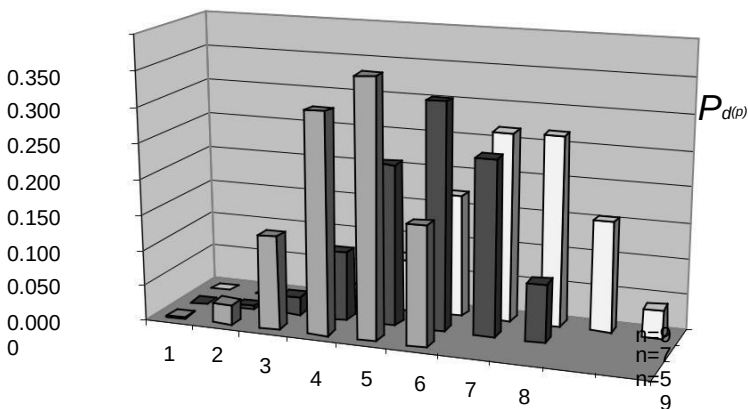


Рисунок 6.1. Распределения вероятности $P_{d(p)}$ чисел машин в работе указывают для различных чисел n машин в системе с установившейся доступностью $k=0.700$.

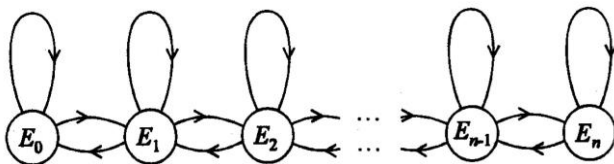


Рисунок 6.2. Процесс изменений состояний системы n машин, работающих параллельно.

успех с определенной постоянной вероятностью. В случае системы n машин, работающих независимо, мы замечаем, что эксплуатация обрабатывает подобный процессу рождения и гибели типа Маркова в том смысле, что возможные переходы происходят только между соседними состояниями. В добывающей практике в общем случае распределения вероятности не показательны как в модели Маркова. Если времена данного состояния описаны определенным распределением вероятности (общий случай), и случайные переменные, связанные с конкретными состояниями, независимы друг от друга (который обычно держится), мы можем заявить, что здесь у нас есть рождение-и-смерть Полумарковский процесс, ограниченный сверху. Если k из n совков власти находятся в неудаче, единственная возможность пройти к следующему состоянию состоит также в том, когда один из k совков власти возобновляет ее обязанности (ремонт закончен, и возобновление происходит), или когда — перед возникновением этого события — другой совок власти (один из $n-k$ оставление хорошими единицами) понижается. Этот процесс

иллюстрирован на рисунке 6.2, где E_k обозначает состояние, в котором снижаются k машины.

Запуски процесса в E_0 и время от времени подскакивают через некоторые состояния направо и позже — через какое-то время — прибыль налево. В некоторых случаях перемещаясь значительно далеко от E_0 возвращение налево может быть сделано с маленьким скачком одного или двух состояний направо. Для более надежных машин процесс проводит много времени в E_0 . Чем больше частота появления штата Θ_0 , тем короче периоды движения процесса направо. Давайте теперь сделаем короткий перевод этой вероятной схемы на технический язык. Диспетчеры грузовика обычно принимают свои решения, предсказывая следующее состояние процесса эксплуатации — некоторые совки снижаются, но у диспетчера есть информация, что скоро они будут восстановлены, и поэтому он начинает направлять больше грузовиков к яме.

Давайте возвратимся к главному рассмотрению этой главы. Две дополнительных проблемы должны быть учтены здесь.

Во-первых, даже если машина очень дорогая и должна работать круглосуточный, это не означает, что машина делает так. Некоторые перерывы в его действии неизбежны. Совок, например, после погрузки общей суммы взорванной скалы в данном месте должен переехать в новый пункт погрузки. Бурильщик после создания отверстия в одном месте должен двинуться в новый пункт, отмеченный ориентиром. Кроме того, операторы машин должны быть изменены. Некоторые разрывы в более длинные периоды работы обязательны и так далее. Все они означают, что кроме состояний надежности, таких как работа и ремонт, дальнейшее состояние должно быть принято во внимание — состояние недоступности машины для выполнения ее обязанностей. Это не состояние надежности, а эксплуатация один, как с точки зрения надежности такая машина находится все еще в состоянии работы.

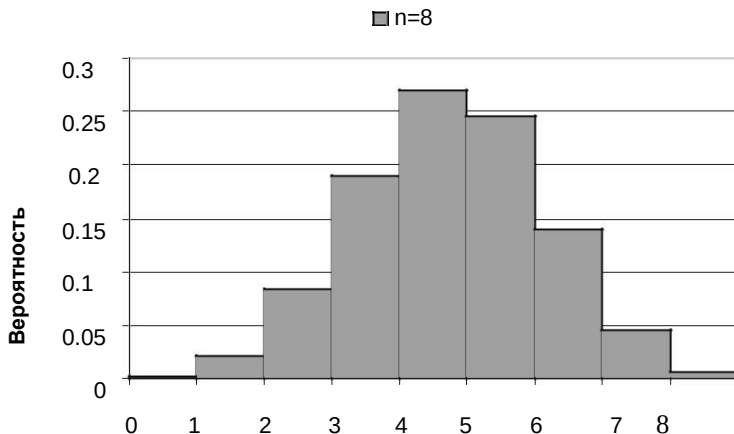
Основная мера этого состояния - коэффициент доступности, B . Принятие во внимание, что:

- Состояния машин ремонта и доступности, чтобы выполнить обязанности независимы друг от друга.
- Машины работают друг независимо от друга.

Мы можем построить распределение вероятности количества машин в состоянии доступности, чтобы выполнить их обязанности. Этим распределением дают:

$$P_d^{(zd)} = \binom{n}{d} G_k^d (1 - G_k)^{n-d} \quad d = 1, 2, \dots, n \quad G_k = AB \quad (6.4)$$

где $P_d^{(zd)}$ является вероятностью, что d машины в состоянии доступности, чтобы выполнить их обязанности, который является d машинами, в состоянии выполнить их задачи.



Число непрерывных шахтеров, которые в состоянии производить земляные работы

Рисунок 6.3. Распределение вероятности числа непрерывных шахтеров, которые в состоянии производить земляные работы.

Рисунок 6.3 показывает распределение вероятности многих непрерывных шахтеров, которые в состоянии выкапывать работу на определенном уровне угольной шахты. Система состоит из 8 единиц, $G \approx 0.47$ и их пробег процессов эксплуатации параллельно.

Давайте посмотрим более тщательно на процесс эксплуатации n машин, работающих параллельно. Одно событие — состояние возникновения — является специфическим. Это — когда все машины снижаются. Система прекратила выполнять свою задачу полностью. После предыдущей цепи рассуждений может быть развита область соображения. Система прекращает выполнять свою задачу полностью, потому что или все машины находятся в ремонте, или некоторые машины находятся в ремонте, но некоторые в состоянии недоступности для погрузки, или все машины находятся в состоянии работы, но в состоянии недоступности для погрузки.

Пренебрегая здесь, насколько редкий такое событие для данного типа системы и надежности ее машин, давайте посмотрим на это состояние и рассмотрим последствия. Обычно есть два типа эффектов:

- Если все машины в этой системе не сотрудничают непосредственно с другими элементами оборудования, нет никакого последствия кроме того, что продукция системы — ноль. Это могло бы иметь место, например, для системы буровых, делающих взрывающиеся отверстия для раскопок.

- Если машины в этой системе сотрудничают с другими элементами оборудования, последствие может быть значительным для процесса эксплуатации общей системы.

Если, например, время, чтобы закончить самый близкий ремонт совка (самый ранний пункт возобновления в процессе эксплуатации совков) или

время, чтобы закончить состояние совка недоступности более длительно, чем цикл повременной работы грузовика, целый процесс эксплуатации системы восстанавливает себя. В то время все грузовики достигнут своих пунктов назначения, некоторые грузовики будут в очередях в совках, ждущих перезапуска погрузки, некоторые грузовики будут в запасе, некоторые грузовики будут в состоянии недоступности для погрузки — вторичное наполнение их баков, или через водителей, имеющих перерыв на кофе, и т.д. Движение грузовика ухудшается. Когда процесс погрузки возобновлен и один за другим сгребает, начинают загружать, особенности процесса эксплуатации в этот промежуток времени отличаются от тех, когда процесс стабилизирован и регулярно бежит. После перезапусков погрузки совки, работают непрерывно, потому что есть много корабов грузовика, чтобы заполниться. Система буксирующих единиц интенсивно не используется, и некоторые самосвалы находятся все еще в очередях. Некоторое время необходимо, чтобы стабилизировать общие системные особенности.

Легко заметить, что, чем меньше совки в системе, тем ниже их надёжность и доступность, и выше вероятность возникновения такого исключительного состояния 2. Несмотря на то, что это специфическое событие редко, вероятность его возникновения, важна. Создание вычислений целой системы оборудования во всех возможных состояниях нужно рассмотреть, и сумма всех вероятностей должна быть близко к единству. Поэтому в некоторых формулах постоянная нормализация должна быть включена, чтобы получить правильные результаты для вычислений. Эта константа - функция вероятности возникновения этого исключительного состояния.

Стоит указать, что второе событие этого типа имеет место, когда все грузовики не транспортируют. Вероятность возникновения этого состояния уменьшается с увеличением количества грузовиков, используемых в системе и увеличениях, когда надёжность буксирующих машин уменьшена. Для большинства больших систем оборудования шахты вероятность возникновения, что все единицы перевозки снижаются, столь маленькая, что этим можно пренебречь.

Подобные соображения до известной степени могут быть сформулированы для процесса эксплуатации непрерывных шахтеров, сотрудничающих с автомобилями шаттла, например. Однако для некоторых систем оборудования важность, которая должна быть присоединена к исключительному состоянию, очень маленькая, и для некоторых систем не существует проблема.

Если у данной системы оборудования есть запас единиц, вероятность возникновения исключительного состояния уменьшена. Если запасной размер достаточен, можно предположить, что, когда любая машина в системе, всегда будет запасная единица, чтобы составить системную потерю. В таком случае вероятность возникновения исключительного состояния - практически ноль, и постоянная нормализация равняется 1 и может быть удалена из формул. Пример такой системы - система совка с системой колесных автопогрузчиков, которые обычно многочисленны в больших открытых ямах.

Один дальнейший важный момент должен быть принят во внимание в связи с этим анализом. Если для данной системной запчасти оборудования единицы идентичны регулярным единицам, никакое специальное дополнительное соображение не необходимо. С другой стороны, однако, если запасные машины отличаются, однородность системы не сохранена. Метод системного вычисления должен быть изменен (см. Главу 10).

Появление этого состояния в системе грузовика совка рассмотрели более всесторонне в монографии Чаплицкий (2009, стр 92–93).

ГЛАВА 7

Системы машин в непрерывной операции



7.1 ВВЕДЕНИЕ

Некоторые основные типы мои системы оборудования (Глава 2.2) вовлечены в так называемую ‘непрерывную горную промышленность’. Это касается и подземной и поверхностной добычи полезных ископаемых. Общий принцип для систем оборудования этого вида - то, что раскопки, буксируя и сваливая достигаются непрерывно. Есть также некоторые конкретные части мое оборудование, с которым можно столкнуться в этом классе, но это трудно обнаружить на первый взгляд (см. Главу 7.6).

В подземной добыче непрерывный тип операции касается, прежде всего, угольной промышленности, но также и горной промышленности месторождений полезных ископаемых, которые легко выкопать, такие как соль, трона или поташ. Для поверхностной горной промышленности этот термин связан, главным образом, с добытыми открытым способом операциями, включая горную промышленность пластовых депозитов типа, такими как лигнит, железная руда, медная руда — и все те месторождения полезных ископаемых с ранней стадии геологического возраста. Непрерывная горная промышленность касается, в первую очередь, молодых скал, которые легко извлечь. Добывая под водой (посыпающий, например, посмотрите Голосинского, и Боем 1987) также сделан, применив непрерывную горную промышленность в большинстве случаев.

В поверхности, добывающей самые большие машины, используются для этого типа горной промышленности. Экскаваторы колеса ведра, экскаваторы цепи ведра, появляются, непрерывные шахтеры, много различных типов конвейеров с несколькими единицами пояса, фургонами пояса, накопителями

и конвейерами для обратного транспортирования - машины, вовлеченные в этот тип горной промышленности.

В подземных операциях, включающих непрерывную горную промышленность, прежде всего машины, которые извлекают уголь: прежде всего, непрерывные шахтеры и longwall единицы, комбайны и плуги. Кроме того, большое количество конвейеров цепи и конвейеров пояса управляет метрополитеном. Кроме того, пневматический и гидротранспортировка может быть добавлен к списку с некоторыми элементами оборудования, работающими на обогатительных фабриках.

Давайте теперь посмотрим на эти элементы оборудования, которые включают большие системы оборудования, имея в виду их процесс эксплуатации. К счастью, смотря на процессы изменений состояний этих машин, это может быть признано, что планы действий могут быть успешно описаны процессами Маркова. Огромное количество исследований надежности, сделанных в Польше (главным образом, в 1970-х) в комбайны, плуги, AFCs, и подземные конвейеры пояса, а также поверхностные единицы, накопители и конвейеры для обратного транспортирования позволяют заключение, что их процессы изменений состояний типа ремонта работы имеют тип Markov1 в большом количестве случаев, которое является распределениями вероятности времен работы и ремонта, может быть удовлетворительно описан показательными распределениями, и времена состояний взаимно независимы. Поэтому метод для вычислений таких систем должен быть помещен в часть теории вероятности, которая касается процессов Маркова. Этот факт чрезвычайно практичен, потому что почти все основные полученные функции легко вычислить. В 1970-х после нескольких лет и эмпирических и теоретических исследований в Польше, две процедуры были построены, допуская всесторонний анализ процессов эксплуатации этих систем. Один способ был разработан Технологическим университетом Вроцлава. Второй, немного позже, в силезском Технологическом университете. Последняя процедура более проста, и она будет представлена здесь 2



Этот метод - точный, который принимает во внимание все возможности. Это коммуникативное и легкое понять. Однако для больших и сложных систем, это слишком детализировано. Самый болезненный и утомительный пункт - идентификация ряда технически невыполнимых состояний для процесса эксплуатации проанализированной системы.

Давайте обсудим этот принцип работы. Это может быть представлено как последовательность шагов, разработанных, чтобы получить конечный результат. Эти пункты следующие:

- Определение системы , которую рассмотрят
 - Определение элементов системы
 - Определение надежности элементов системы
 - Определение структуры надежности системы
 - Определение метода использования системы
 - Определение метода обслуживания системы
- Чтобы быть точным, вероятностный процесс, состояние которого во время t $X(t)$ для $t \geq 0$, и чья история состояния дана $x(s)$ в течение многих времен $s < t$ - процесс Маркова если

$$P\{X(t+h)=y|X(s)=x(s), \forall s \leq t\} = P\{X(t+h)=y|X(t)=x(t)\} \quad \forall h > 0$$

Таким образом, вероятность того, что это имело состояние y во время $t+h$, обусловленный при наличии конкретного состояния $x(t)$ во время t , равна условной вероятности того, что это имело то же самое состояние y , но обусловленный на его стоимости во *все* предыдущие разы прежде t . Было доказано, что процесс Маркова - математическая модель для случайной эволюции memoryless системы.

- Между прочим, в 1989^с публикация Павлович, где теоретические проблемы надежности непрерывных систем рассматривают, была издана. Читая эту книгу, два впечатления неизбежны — это - единственная книга по этой теме в мире (нет никакой ссылки вообще), и никакая связь с практикой шахты не видима.

- Сокращение элементов последовательно
- Определение репертуара эксплуатации 
 - Определение количества теоретически возможных состояний
 - Определение состояний
- Строительство графа эксплуатации
 - Графический проект перехода между состояниями
 - Проверка состояний, которые технически невыполнимы
- Создание матрицы интенсивности перехода между состояниями
- Строительство уравнений, определяющих ограниченную вероятность состояний
- Решение уравнений
- Проверка полученных результатов, заключения.

Представленная методология включает много пунктов и содержит некоторые условия, которые должны быть определены. Давайте обсудим их в последовательности.

Первый пункт - определение системы, для которой будет проанализирован процесс эксплуатации. Требуется соответствующий набор информации. Вначале мы должны знать число и типы элементов в системе (1a). Очевидно, информация также необходима на надежности этих элементов (1b). Информация о надежности структуры³ системы³, также необходимого (1c). Если у системы, которую рассматривают, есть иерархический структуры⁴ (некоторые элементы более важны, чем другие), дальнейшая исчерпывающая информация обязательна:

- отношения между элементами системы должны быть определены
- если есть запас в системе, информация об элементах в запасе должна быть дана вместе с последовательностью того, как конкретные элементы будут переключены, чтобы работать; аналогично информация о типе примененного запаса необходима.

Определение метода системного использования (1d) должно включать описание того, как конкретные элементы будут работать, иногда относительно некоторых других системных элементов.

Определение метода системного обслуживания (1e) запросит информацию на количестве команд ремонта, доступных вместе с информацией о заказе ремонтных работ относительно возникновения неудач. Если количество команд ремонта считается подсистемой обслуживания, оно оценено как: достаточный, если количество команд ремонта идентично максимальному количеству ремонтных работ, которые могут произойти в системе одновременно — это означает, что все неудачи будут убраны без задержка ☹;

примечание недостаточный, если иначе; примечание ☹ 2.

Во втором случае дополнительная информация запрошена, описав подробно количество команд ремонта и заказа, в котором будут убраны неудачи.

Сокращение элементов, связанных в ряду (2) с одним обычным элементом, возможно и позволяет, иногда значительно, количество системы указывает, что необходимо считать уменьшенным.

- Определение структуры надежности системы не существует в большинстве книг по теории надежности, но многие авторы используют этот термин. Выглядит, как будто определение, данное Бобровским (1985), просто правильное для наших соображений: 'Это - функция, назначенная на состояния элементов системы, созданной этими элементами'. По словам некоторых авторов 'это - системное описание, которое принимает во внимание события надежности, которые происходят в системе, произведенной ее элементами'.

- Снова, никакое определение иерархической структуры надежности не может быть найдено в книгах по теории надежности. Возможно, самым коммуникативным является литературное определение: 'Все ... равны, но некоторые ... более равны' — Оруэлл.

Следующий вопрос (3) полагается на определение репертуара эксплуатации⁶. Вспомните, репертуар эксплуатации - определенный набор всех возможных состояний системы. Вычисление всех теоретически возможных состояний системы основано на следующем принципе.

Если ряд элементов системы - N , где n_1 элементы могут быть в 1 состояниях k , n_2 элементы может быть в 2 состояниях k и так далее до m , который является:

$$\sum_{i=1}^m n_i = N$$

тогда количество теоретически возможных состояниях определено формулой:

$$L_i = \prod_{i=1}^m k_i^{n_i} \quad (7.1)$$

Определение состояний (3b) полагается на перечисление всех возможных состояний системы. Вспомните, граф эксплуатации (4) является рядом вершин, которые иллюстрируют состояния, связанные дугами таким способом, которым каждая дуга начинается в одной вершине и кончается в другой вершине. Вершины представляют состояния и подсчитаны, и дуги представляют возможные связи, переходы между состояниями. У дуг есть направления, показывающие, что проход от одного состояния до другого возможен. Интенсивность этого прохода назначена на каждую дугу в случае необходимости, и поэтому граф эксплуатации - картина принципов перехода между состояниями системы, или быть более точным, граф иллюстрирует переход между состояниями, которые являются компонентами процесса эксплуатации системы.

Процедура строительства графа эксплуатации следующие. Все состояния, содержащиеся в репертуаре эксплуатации⁶, представлены вершинами. Зная, что означает каждое состояние, соображение сосредоточено на идентификации всех выполнимых одного постепенного изменения данного состояния. Эти изменения затем показывают в графе соответствующие дуги. Если состояние существует, которое не связано дугой ни с каким другим состоянием, это означает, что это состояние технически невыполнимо, и это должно быть отключено из дальнейших соображений.

Строительство графа эксплуатации весьма необязательно. Этим пунктом можно пренебречь, и Вы можете идти дальше, чтобы рассмотреть пункт 5. Однако строительство графа эксплуатации — если это имеет смысл — обладает двумя решающими достоинствами:

- легче определить ряд системных состояний, которые являются технически возможным⁵
- граф иллюстрирует принцип перехода между состояниями хорошо и — теоретически — процесс эксплуатации системы; у этого есть большая дидактическая заслуга.

Для процесса эксплуатации с большим количеством состояний строительство графа бесполезно, как правило, как такового, граф нечитабелен.

Следующий шаг (5) - создание матрицы переходов между состояниями. Эта матрица - эквивалент графа эксплуатации. Матрица квадратная с количеством рядов и колонок, соответствующих с количеством состояний. Этот принцип держится: 'От состояния числа ... (количество ряда) к состоянию числа ... (количество колонки)'. Элементы, лежащие на главной диагонали, вычислены, зная принцип из теории Маркова, в которой говорится, что сумма всей интенсивности в данном ряду должна быть нулем (см., например, Копоциского 1973 г. 38). Элемент главной диагонали - интенсивность остающегося процесса в этом состоянии. Обычно, в матричной только отличной от нуля интенсивности показаны, предположив, что вся интенсивность, не определенная, является нулем.

•
сть три метода для определения, указывает ли ряд, технически выполнимо, а именно, посредством анализа схем проходов в графе эксплуатации, анализом матрицы переходов между состояниями и при помощи некоторых компьютерных программ. Эта матрица позволяет всем невыполнимыми состояниям быть прослеженными. Если у какой-либо колонки (ряд) нет назначенной интенсивности, это означает, что это состояние технически невыполнимо.

Строительство уравнений, чтобы определить ограниченную вероятность состояния (6) сделано информацией об использовании, содержащейся в матрице. Уравнения основаны на принципе что сумма продуктов: вероятность интенсивностью для данной колонки должна быть нулем. Количество ряда указывает, который ограничил вероятность, рассматривается, но интенсивность взята один за другим из данной колонки. Таким способом количество уравнений равняется количеству неизвестных ограниченных вероятностей. Похоже, что решение для набора уравнений обыскиваемых вероятностей может быть получено. Это не верно. Этот набор уравнений неопределен. Необходимо отклонить одно уравнение и добавить уравнение, что сумма всех вероятностей должна быть закрыта для единства.

Проверка полученных результатов и заключения (8) сделана отдельно для каждого случая, который рассматривают.

7.2 ПРИНЦИПЫ СОКРАЩЕНИЯ СЕРИЙНЫХ СИСТЕМ

Было два независимых события в этой части теории процессов Маркова. Оба примерно произошли одновременно — в начале 1960-х. Первое было связано с развитием добывающих проблем в Польше. Возможно в результате потребности экспортировать большие количества угля, было отличное требование, адресованное научно-исследовательским центрам, чтобы разработать методы для точного вычисления систем конвейера пояса. В те дни два подхода использовались в этой области — аналитичный и моделирования.

Применение компьютерных методов проанализировать системы конвейера пояса и более поздние системы непрерывной операции подвергалось большой эволюции во всем мире в течение этого десятилетия (см., например, Рист 1961, Тейкхолтс 1963, Бишеле и др. 1964, Харви 1964, Ауригнак и др. 1968, и др. 1968, Эйчлер 1968, Джуккет 1969). В Польше в дополнение к моделированию, которое прогрессировало в относительно неторопливом темпе, значительный прогресс наблюдался в аналитических методах вычисления этих систем (очевидцы 1964 Гладиш, Баттек 1965, Баттек и др. 1969 или Сажкиевич 1973–75).

Обычно теория мои системы оборудования непрерывной операции, которая развивалась в зрелой форме в 1970-х, осталась в почти неизменной форме с тех пор. Не было никакой специальной потребности провести далее теоретические расследования, особенно из-за непрерывного прогресса в области моделирования. Регулярно каждые несколько лет новый расширенный метод моделирования, только для горной промышленности целей, возник и создал некоторые новые возможности в этом отношении, посмотрите, например, Мутманский и Мвасинга (1988), Стургул (1989), и Тан и Рамани (1988). У обоих способов смоделировать, анализ и вычисление, есть свои собственные достоинства и недостатки, но — что важно — они дополняют друг друга. Тем не менее, более уместно обсудить некоторые проблемы аналитически и проанализировать другие проблемы, используя моделирование.

Это более практично, чтобы считать проблемы связанными с обслуживанием и созданием ремонтных работ систематически, рассматривая переходы между состояниями данной системы, если система - основная или простая и не слишком сложная. Для сложных систем матрица переходов между состояниями и соответствующим графом эксплуатации сложная, расширена и обычно трудная расшифровать. Применение моделирования - более практический инструмент для анализа в таких случаях.

Второе общее развитие в теории процессов Маркова не было связано с горной промышленностью, но со значительным прогрессом, сделанным в теории надежности (Гньеденко и др. 1965, например). Уравнения появились от этих двух независимых событий, которые стали принципами для сокращения систем элементов, связанных в ряду.

Перед представлением этих принципов вспомните определение серийной системы в чувстве надежности.

В одном определении говорится, что системе соединили элементы в ряду, если, и только если, любая неудача любого элемента означает неудачу целой системы. Этот вид структуры надежности хуже из любой возможной структуры системы.

7.2.1 Первый принцип сокращения элементов последовательно

Интенсивность неудач λ_s в системе n элементов, связанных в ряду, является суммой интенсивности ее элементов λ_i при условии, что процесс изменений состояний системы - Марков один, который является:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (7.2)$$

Это стоящий замечания, что, если распределения вероятности времен работы и ремонта не принадлежат показательному семейству распределений, это уравнение держится, но ограничено, который является им, правильно, если система работает за длительный период времени (Гньеденко и др. 1965).

7.2.2 Второй принцип сокращения элементов последовательно

Частота ремонтов κ_s системы n элементов, связанных в ряду, является суммой частоты ремонтов ее элементов κ_i при условии, что процесс изменений состояний системы - Марков один, т.е.

$$\kappa_s = \sum_{i=1}^n \kappa_i \quad (7.3)$$

Снова верно, что, если распределения вероятности времен работы и ремонта не показательное, вышеупомянутое уравнение держится, но ограничено, который является им, правильно, если система работает за длительный период времени (Гньеденко и др. 1965).

Если все элементы - то же:

$$\lambda_s = n\lambda_i \text{ и } \kappa_s = n\kappa_i$$

который очевиден.

Вспоминание уравнения 5.19:

$$\lambda = (T_w)^{-1}$$

мы в состоянии вычислить среднее рабочее время T_{ws} системы согласно формуле:

$$T_{ws} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{wi}} \right\}^{-1} \quad (7.4)$$

где T_{wi} - среднее рабочее время i -th элемента.

Точно так же среднее число времени ремонта T_{ns} системы может быть вычислено от формулы:

$$T_{ns} = T_{ws} \sum_{i=1}^n \kappa_i \quad (7.5)$$

Если все элементы системы идентичны:

$$T_{ns} = T_{ni}$$

Используя формулы 5.19 и 7.3, могут быть получены следующие отношения:

$$\mu_s = \frac{\lambda}{\sum_{i=1}^n \kappa_i} \quad (7.6)$$

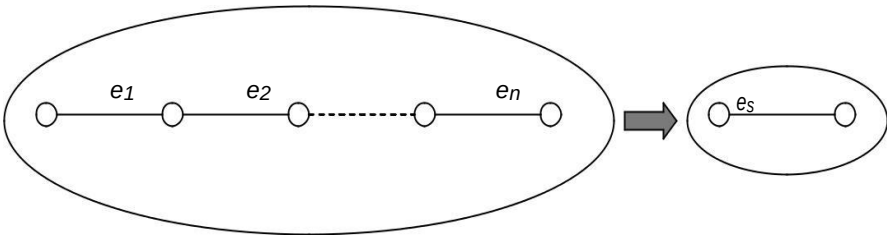
который решает, что интенсивность системы восстанавливает μ_s .

Помня формулы 5.23 или 5.25, мы можем заявить что:

$$A_s = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \kappa_i} \quad (7.7)$$

что означает, что установившаяся доступность (который является вероятностью, что в любой момент времени система находится в состоянии работы) системы этого вида определена формулой 7.7. Эта формула иллюстрирует, как надёжность системы уменьшается, если ряд элементов применил увеличения.

Заметьте, что принципы сокращения — формулы 7.2 и 7.3 — разрешают целой серийной системе быть замененной единственным обычным элементом λ_s и κ_s индексы надёжности.



7.3 ТЕМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрите теперь несколько примеров систем оборудования, которые находятся в частом употреблении в шахтах. Давайте сделаем анализ этих систем согласно методологии, которую мы обрисовали в общих чертах.

Давайте начнем с базовой системы типа ската, который является двумя элементами, которые обеспечивают массы I_1 и I_2 на третий элемент.

Пример 7.1

1. Есть система

$$\mathcal{S} : \langle e_i, i = 1, 2, 3; \lambda_i, \mu_i; \mathcal{Q}_1 \rangle$$

В этом примечании, входе ‘.’ $\mathcal{S}$ означает, что ‘система $\mathcal{S}$ определена’. Система состоит из трех элементов интенсивности неудач λ_i и интенсивности ремонта μ_i . Подсистема обслуживания достаточна — примечание₁, что означает, что все ремонтные работы будут убраны незамедлительно.

Структуру надежности системы показывают на рисунке 7.1. Давайте решим эту систему.

2. Сокращение элементов в ряду очевидно не нужно.

Можно было предложить, чтобы, возможно, все эти элементы были, что остается после сокращения. Мы можем предположить, что элемент e_1 и e_2 перед сокращением включили машину непрерывной операции и нескольких буксирующих единиц, например, комбайна, двух AFCs и некоторых конвейеров пояса, если подземная добыча исследуется. Для добытой открытым способом горной промышленности это может быть, например, BWE и некоторые конвейеры пояса и наклоненные скаты. Третий элемент может состоять из определенного числа конвейеров пояса или комбинации конвейеров пояса и накопителя, если добытая открытым способом горная промышленность исследуется.

3. Репертуар эксплуатации $\mathcal{G}$

Количество теоретически возможных состояний:

$$L = 23_i = 8$$

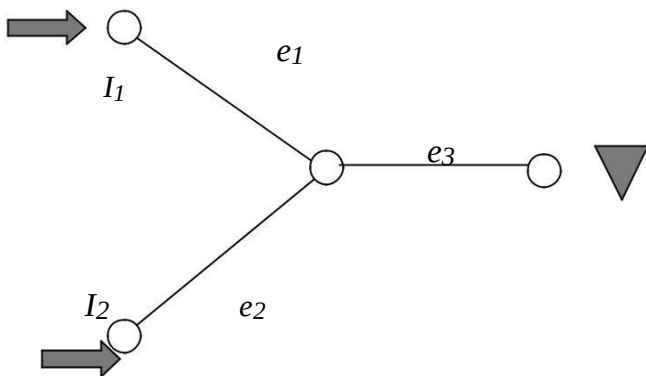


Рисунок 7.1.

Схема системы ската с тремя элементами.

Таблица 7.1. Эксплуатационный репертуар  для трехэлементной системы желобов.

Состояние	Элемент			Эффект
	e_1	e_2	e_3	
 1	W	W	W	I_1+I_2
 2	R	W	W	I_1
 3	W	R	W	I_2
 4	S	S	R	0
 5	R	R	S	0
 6	S	R	R	0
 7	R	S	R	0
 8	R	R	R	(-)

Примечание:

 – состояние системы

W – работа

R – ремонт

S – standstill

(-) – указывают технически невыполнимый

Давайте теперь построим стол, в котором покажут все состояния. Кроме того, эффект того, буксируется ли масса или не относительно конфигурации данных состояний, также включен. Результаты этого строительства показывают в Таблице 7.1.

Анализируя информацию содержал в Таблице 7.1, легко признать что:

- три состояния гарантируют массовый поток из других источников, в зависимости от состояния системы

☐ есть четыре состояния ремонта системы:    и 

- состояние  технически невыполнимо.

Стохастический 'механизм', который блокирует проход в состояние , является предположением, что элемент в состоянии бездействия не потерпит неудачу.

Состояние покоя - это не «собственное» состояние какого-либо элемента. Это «побочный продукт» организации элементов в системе

4. Строительство графа эксплуатации

График эксплуатации для этой системы показывают на рисунке 7.2. Ясно, что нет никакой дуги, предписанной указывать δ_8 , и поэтому это состояние было исключено.

5. Создание матрицы интенсивности переходов между состояниями

Смотря на Таблицу 7.1 или в рисунке 7.2 матрица, показанная ниже, может быть построена. Только отличные от нуля матричные элементы включены. Элементы на главной диагонали, очевидно, определены следующим образом:

$$\Delta_1 = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$$

$$\Delta_2 = -(\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3)$$

$$\Delta_3 = -(\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta_1 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & & & \\ \mu_1 & \Delta_2 & & & \lambda_2 & & \lambda_3 \\ \mu_2 & & \Delta_3 & & \lambda_1 & \lambda_3 & \\ \mu_3 & & & \Delta_4 & & & \\ & \mu_2 & \mu_1 & & \Delta_5 & & \\ & & \mu_3 & \mu_2 & & \Delta_6 & \\ & \mu_3 & & \mu_1 & & & \Delta_7 \end{pmatrix}$$

- Строительство уравнений, определяющих ограниченную вероятность состояния

$$P_i, \quad i = 1, 2, \dots, 7.$$

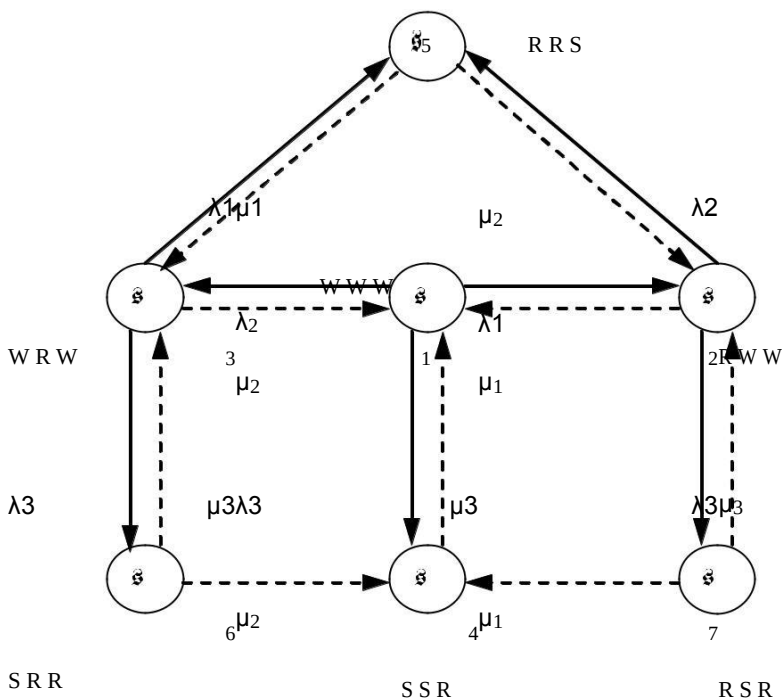


Рисунок 7.2. График эксплуатации для процесса эксплуатации системы ската с достаточным обслуживанием.

Применяя принцип, определенный в методологии (см. Главу 7.1), эти уравнения будут:

$$\begin{aligned}\Delta_1 P_1 + \mu_1 P_2 + \mu_2 P_3 + \mu_3 P_4 &= 0 \\ \lambda_1 P_1 + \Delta_2 P_2 + \mu_2 P_5 + \mu_3 P_7 &= 0 \\ \lambda_2 P_1 + \Delta_3 P_3 + \mu_1 P_5 + \mu_3 P_6 &= 0\end{aligned}$$

и так далее.

Вспомните, необходимо отклонить одно уравнение и добавить:

$$\sum_{i=1}^7 P_i = 1$$

Ограниченное распределение вероятности будет получено, решая эти уравнения.

Имея все предполагаемые вероятности, легко оценить фактическую производительность системы, W_{ef} ; примите во внимание, что фактическая производительность - такая продукция, которая может ожидаться за длительный период действия системы.

Здесь мы имеем:

$$W =_{ef} (l_1 + l_2) P_1 + LP_{12} + LP_{23}$$

Вероятностью системного отказа, который не означает 'массовой доставки', дают:

$$P_{sf} = \sum_{i=4}^7 P_i$$

Давайте теперь вычислим эту систему на основе некоторых данных, взятых от подземной угольной промышленности.

Считайте систему показанной на рисунке 7.3.

Элементы e_1 и e_6 - машины выемки угля (комбайны), элементы e_2 и e_6 - AFCs, работающий в длинных стенах, элементы e_3 и e_8 - AFCs (перегрузжатели), и элементы e_4, e_5, e_9, e_{10} являются конвейерами пояса, буксирующими потоки угля.

Параметры надежности этих элементов оборудования были следующие:

$$\begin{array}{llll} \lambda_1 = 55 \times 10^{-3} & \lambda_2 = 38 \times 10^{-3} & \lambda_3 = 28 \times 10^{-3} & \lambda_4 = \lambda_5 = 9 \times 10^{-3} \\ \lambda_6 = 65 \times 10^{-3} & \lambda_7 = 30 \times 10^{-3} & \lambda_8 = 19 \times 10^{-3} & \lambda_9 = 8 \times 10^{-3} & \lambda_{10} = \dots = \lambda_{13} = 4 \times 10^{-3} \\ \mu_1 = 0.92 & \mu_2 = 0.83 & \mu_3 = 1.02 & \mu_4 = \mu_5 = 1.10 & \\ \mu_6 = 0.85 & \mu_7 = 0.75 & \mu_8 = 1.06 & \mu_9 = 0.96 & \mu_{10} = \dots = \mu_{13} = 0.92 \end{array}$$

Помните, у всех этих индексов надежности есть размеры: здесь они - $h-l$.

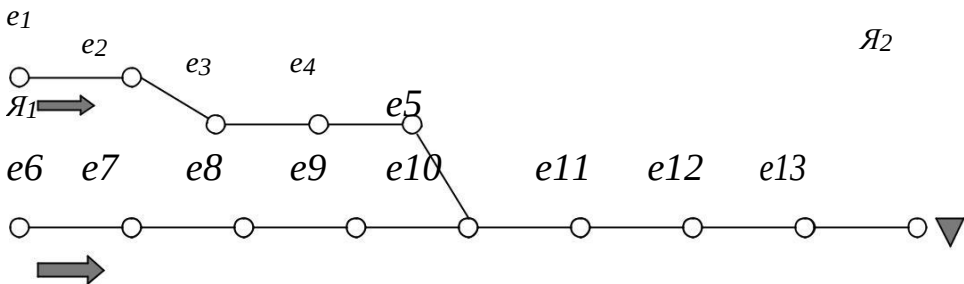


Рисунок 7.3. Вемочная система перевозок в подземной угольной шахте.

Делая сокращение всех элементов связанным в ряду, система уменьшена до один показанный на рисунке 7.1. Индексы надежности новых обычных элементов следующие:

$$\begin{aligned}\lambda_I &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = 139 \times 10^{-3} \\ \lambda_{II} &= \lambda_6 + \lambda_7 + \lambda_8 + \lambda_9 = 122 \times 10^{-3} \\ \lambda_{III} &= \sum_{i=10}^{13} \lambda_i = 16 \times 10^{-3} \\ \kappa_I &= \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3} + \frac{\lambda_4}{\mu_4} + \frac{\lambda_5}{\mu_5} = 149.38 \times 10^{-3} \\ \kappa_{II} &= \frac{\lambda_6}{\mu_6} + \frac{\lambda_7}{\mu_7} + \frac{\lambda_8}{\mu_8} + \frac{\lambda_9}{\mu_9} = 142.73 \times 10^{-3} \\ \kappa_{III} &= \sum_{i=10}^{13} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)_i = 17.39 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

Эти параметры могут теперь быть включены в набор уравнений, чтобы получить ограниченное распределение вероятности состояния системы. Эти вероятности:

$$\begin{aligned}P\{W, W, W\} &= P_1 = 0.750 & P\{R, W, W\} &= P_2 = 0.111 & P\{W, R, W\} &= P_3 = 0.107 \\ P\{S, S, W\} &= P_4 = 0.015 & P\{R, R, S\} &= P_5 = 0.016 \\ P\{S, R, R\} &= P_6 = 0.000 & P\{R, S, R\} &= P_7 = 0.000\end{aligned}$$

Давайте пойдем немного далее в наших соображениях. Предположите, что буксирующая мощность всех конвейеров, несущих первый поток угля, является $Q_I = 1\,200$ т/ч и буксирующая мощность всех конвейеров, буксирующих второй поток, являются $Q_{II} = 1\,600$ т/ч. У главной линии есть способность на $2\,800$ т/ч. Вопрос - то, что способность транспортировки Q_{ef} системы, если ее надёжность учтена?

Имея в виду вышеупомянутое распределение вероятности можно записать:

$$Q =_{ef} (Q_I + Q_{II}) P_1 + Q_{II} P_2 + Q_I P_3 = 2\,405 \text{ т/ч}$$

Это последнее уравнение описывает способность перевозки системы, принимающую во внимание элементы надежности системы. Но есть одна чувствительная и чрезвычайно жизненная проблема: была ли система отобрана правильно. Анализ этой проблемы более всесторонним способом, которым каждый видит, что в самом начале есть проблема определенного противоречия между характером потока минерала, произведенного машиной победы и буксирующей мощностью конвейера. Поскольку расследования шахты показали, поток минерала, произведенного машиной победы как комбайн, плуг или непрерывный шахтер, может быть удовлетворительно описан Гауссовским

процессом (см., например, Антоняк 1990, Вианекки1974), но нормальное примененное распределение вероятности должно быть усеченным, по крайней мере, к нулю (Чаплицкий 1994). Давайте посмотрим на сюжет в качестве примера потока минерала, произведенного машиной победы. Это показывают на рисунке 7.4. Переменная x означает продукцию.

Выбирая буксирующее устройство (говорят конвейер) данной способности мы делаем сокращение, выбирая пункт на оси X x_{sel} . Поток минерала большей продукции, чем мощность конвейера не будет взят отобранной единицей перевозки. Часть недавно извлеченной скалы останется в рабочем лице, создающем замедление в сокращающемся действии машины победы — иногда это будет блокировать это действие в течение некоторого времени, и иногда эта часть будет взята конвейером в ближайшие минуты. Но реальные объемы производства машины победы сокращены немного. Выглядит, как будто эта проблема может быть решена, проектировав конвейер с более высокой мощностью транспортировки. В поверхности, добывающей такой подход, может иногда применяться, но во многих случаях это неэкономно. Проблема не состоит в том, что размеры буксирующей единицы будут слишком большими, но в связанных последствиях изменения конвейера. В подземной добыче более крупный конвейер размера нуждается в более крупном пересечении транспортировки двигателя, который

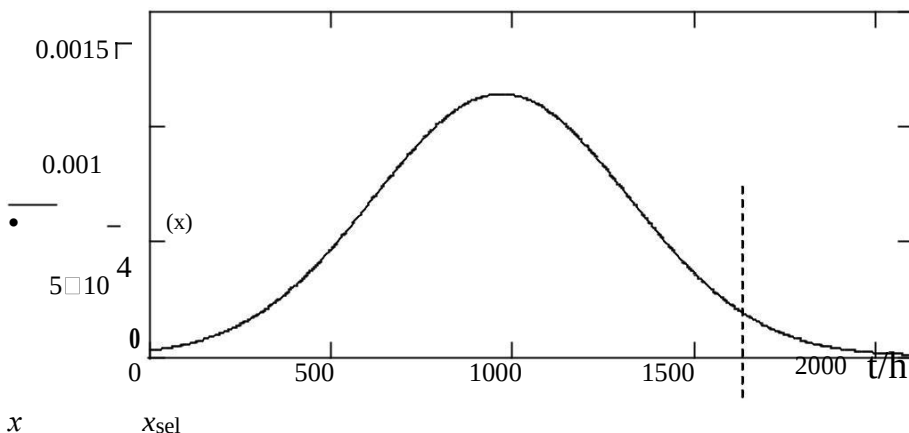


Рисунок 7.4. Плотность распределения вероятности потока скалы извлечена, выиграв машину. является чрезвычайно дорогим. В карьерах у многих машин победы есть один или два конвейера, которые являются конструктивными элементами в этих машинах. Если больший размер конвейера должен использоваться, это может означать, что будет необходима более крупная машина победы. Снова, есть дополнительные расходы, возможно, иррациональные.

Очевидно, эту проблему нужно рассмотреть, приняв во внимание различную проблему. Как часто данная продукция произойдет в данном случае? Такой вопрос приведет к выбору уровня X_{sel} , применяя уравнение:

$$X_{sel} = X + \vartheta \sigma_x$$

где:

- средний из потока, X из минерала σ_x являются стандартным отклонением X квинтиль стандартизированного нормального распределения.

Такой подход был представлен в некоторых публикациях (см. Franasik andur Ž.1983, Антоняк 1990, Чаплицкий 1994 и некоторые российские газеты cf. Антоняк 1990). Проблемой, которая должна быть решена здесь, является надлежащий выбор квинтили, которая определяет массу вероятности, которая будет принята во внимание.

Тем не менее, это отношение к проблеме выбора продукции конвейера пренебрегает экономической стороной его полностью. Если ценность извлеченной скалы высока, мы склонны согласиться на выбор большей ценности X_{sel} . Хранение этот аспект в памяти теория функций решения должна быть применена (Уолд 1973, Matusita 1951), который позволяет этому экономическому аспекту быть включенным. Эта проблема может быть сформулирована таким способом. Мы ищем продукцию конвейера, для которого минимизированы совокупные экономические потери. Два аспекта этих потерь обычно рассматривают: потери из-за более низкого производства машины победы и потерь из-за применения более крупного конвейера и чем дальнейшие элементы оборудования, которые необходимы, чтобы использовать, тем более крупный конвейер эффективно. Рисунок 7.5 показывает сюжет в качестве примера для этих функций, предполагающих, что они - линейные. Производственные убытки более острые, и поэтому функция увеличивается быстро, когда объемы производства конвейера сокращены. Негабаритные потери оборудования не серьезны, и соответствующая функция медленно увеличивается по сравнению с производственными убытками. В рассмотрении этой проблемы должен иметься в виду один фактор. У потока минерала, текущего в рабочем лице, есть большая дисперсия. Когда буксирующее расстояние увеличивается, этот поток 'остывает', и дисперсия становится уменьшенной. Большая дисперсия потока минерала призывает к большей продукции перевозки, но это требует денег, работы и время. В подземных условиях есть нехватка этих пунктов.



Рисунок 7.5. Потери против отобранной продукции конвейера.

Весьма схожие проблемы могут быть найдены в некоторых других областях горной промышленности разработки. Например, рассмотрите парк грузовиков. Когда откатчик снижается, это направлено к ремонтной мастерской. Количество неудавшихся грузовиков в системе в данный момент - случайная переменная, но количество стендов ремонта - детерминированная стоимость. Проблема состоит в том, как правильно выбрать количество ремонта, стоит. Предложенный критерий должен выбрать количество стендов, таким образом, что средняя очередь из неудавшихся грузовиков, ждущих ремонта, будет незначительна (монография Чаплицкий 2009).

Эти соображения могут быть взяты далее, но они не полностью в рамках этой книги.

Давайте возвратимся к анализу последующих примеров. Анализируя систему, которую мы рассматривали в Примере 7.1 более тщательно, мы могли бы прийти к выводу, что, если система маленькая и возникновение неудач не настолько частое, возможно, нет никакой потребности сохранить две команды ремонта доступными непрерывно. Давайте обсудим случай, где только одна команда доступна. Предположение 1 должен поэтому быть отклонен.

Если так, сначала метод обслуживания должен быть определен относительно последовательности ремонтных работ, которые будут сделаны, если два элемента находятся в состоянии неудачи одновременно. Поэтому мы должны тщательно рассмотреть все состояния с двумя элементами в неудаче, которая является состояниями $\mathfrak{S}_5, \mathfrak{S}_6$ и $\mathfrak{S}_7$. Заметьте, что методология к пункту 3 остается неповрежденной.

Мы можем предположить, например, что элементы e_1 и e_2 одинаково важны, но у элемента e_3 должен быть приоритет, потому что, если это

находится в неудаче, не может быть никакого производства. Если так, мы можем предположить что:

- если неудача происходит в третьем элементе, в то время как элемент e_1 или элемент e_2 восстанавливаются, текущий ремонт остановлен, и команда ремонта идет в третий элемент и убирает неудачу, которая только что произошла, и затем команда возвращается, чтобы закончить остановленный ремонт

- если неудача происходит в элементе e_1 , в то время как элемент e_2 восстанавливается или наоборот, команда ремонта не останавливает свое действие.

Заметьте, что один пункт в этом соображении может отличаться на практике. Если один поток минерала значительно больше, чем другой может быть сформулирован, новый приоритет:

- элемент e_3 является самым важным
- элемент, транспортирующий большую массу (e_1 или e_2), более важен чем другой один (e_2 или e_1).

Одно дополнительное предположение все еще обязательно. Ответ на следующий вопрос должен быть найден. Какие виды последствий связаны с тем, что ремонт мог бы быть остановлен? Эта ситуация подобна этой в теории очереди (рассмотренной в Главе 8.1), какой клиент должен быть обслужен сначала?

Здесь несколько различных ответов могут быть сформулированы, а именно:

- никакие последствия: ремонт после прекращения продолжен, и нет никакого изменения времени ремонта
- есть следствие: ремонт должен начаться снова с начала
- есть следствие: ремонт продолжен, но он длится немного дольше, чем без прекращения.

Выглядит, как будто случай (f) не держится для элементов непрерывных систем горной промышленности. Случай (g) более вероятен, однако, поскольку расширение во время ремонта обычно маленькое. В целях вычисления это более практично, если этим приращением пренебрегают. Поэтому мы можем предположить, что случай (e) является самым частым.

Заметьте, что, выбирая данный ряд допущений мы получаем различный ход процесса эксплуатации системы. На основе обычной логики мы можем построить граф эксплуатации интереса.

Давайте теперь посмотрим на эффекты некоторых предположений. Рисунок 7.6 иллюстрирует граф эксплуатации для системы ската, предполагая набор предположения: $\mathfrak{N} = \{(a), (b), (e)\}$.

Давайте построим матрицу из переходов между g состояниями. Это дано ниже.

$$\begin{pmatrix} \Delta_1 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & \Delta_2 & 0 & 0 & \lambda_2 & 0 & \lambda_3 \\ \mu_2 & 0 & \Delta_3 & 0 & \lambda_1 & \lambda_3 & 0 \\ \mu_3 & 0 & 0 & \Delta_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & \mu_1 & 0 & \Delta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_3 & 0 & 0 & \Delta_6 & 0 \\ 0 & \mu_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta_7 \end{pmatrix}$$

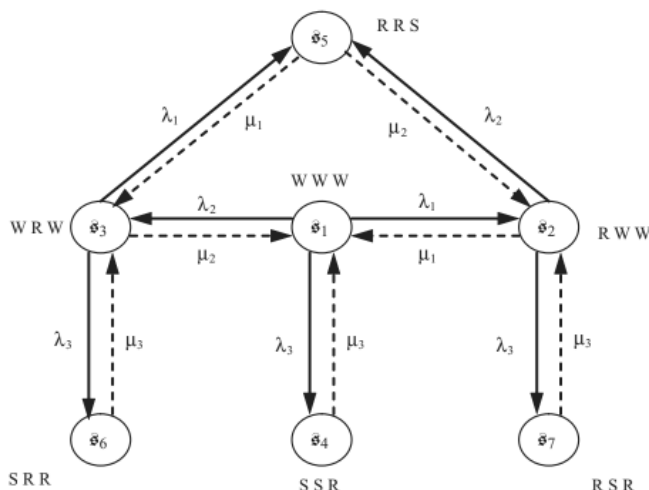


Рисунок 7.6. Граф эксплуатации для процесса эксплуатации системы ската с тремя элементами с недостаточным обслуживанием данного типа.

Дальнейшая часть анализа остается неизменной.

Существенное замечание: Обратите внимание, что будут получены различные оценки для ограниченного распределения вероятности. ◀

Пример 7.2

Давайте рассмотрим случай, в котором три элемента поставляют минерал на одну единицу ствола вместо два. Такую организацию называют системой ската с четырьмя элементами. Его графическое представление показывают на рисунке 7.7.

Чтобы сделать соображение более простым, будет предполагаться, что нет никакой проблемы с обслуживанием — все неудачи будут убраны сразу.

1. Поэтому система

$$\mathcal{S} : \langle e_i, i = 1, \dots, 4; \lambda_i, \mu_i; \mathcal{Q}_1 \rangle$$

- Никакое сокращение серийных элементов не необходимо. Это вероятно это было сделано прежде.
- Вычислите количество теоретически возможных состояний системы:

$$L = 24_t = 16$$

Эти состояния перечислены в Таблице 7.2. Заметьте, что все состояния технически выполнимы.

5. Матрица интенсивности перехода между состояниями дана ниже.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Δ_1	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4											
2	μ_1	Δ_2				λ_2			λ_3	λ_4						
3	μ_2		Δ_3			λ_1	λ_3				λ_4					
4	μ_3			Δ_4		λ_2	λ_4	λ_1								
5	μ_4				Δ_5											
6		μ_2	μ_1			Δ_6						λ_3	λ_4			
7			μ_3	μ_2			Δ_7					λ_1			λ_4	
8				μ_4				Δ_8								μ_3
9		μ_3		μ_1					Δ_9			λ_2		λ_4		μ_1
10		μ_4								Δ_{10}						
11			μ_4								Δ_{11}					
12						μ_3	μ_1		μ_2			Δ_{12}				
13						μ_4				μ_2	μ_1		Δ_{13}			
14							μ_1	μ_4	μ_3					Δ_{14}		
15							μ_4	μ_2			μ_3				Δ_{15}	
16	μ_4															Δ_{16}

II

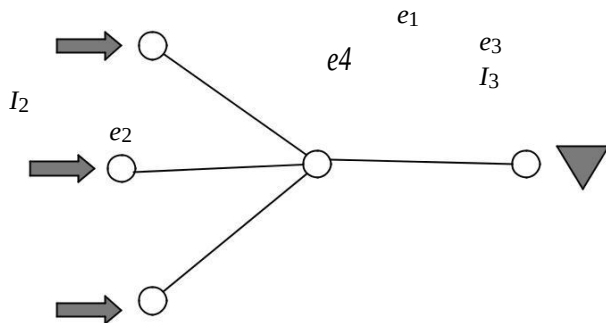


Рисунок 7.7. Схема системы ската с четырьмя элементами.

Таблица 7.2. Эксплуатационный репертуар  для четырех элементной системы желобов.

Состояние	Элемент				Эффект
	e_1	e_2	e_3	e_4	
 1	W	W	W	W	$I_1+I_2+I_3$
 2	R	W	W	W	I_2+I_3
 3	W	R	W	W	I_1+I_3
 4	W	W	R	W	I_1+I_2
 5	S	S	S	R	
 6	R	R	W	W	I_3
 7	W 	R	R	W	I_1
 8	S 	S	R	R	
 9	R 	W	R	W	I_2
 10	R 	S	S	R	
 11	S 	R	S	R	
 12	R 	R	R	S	
 13	R 	R	S	R	
 14	R 	S	R	R	
 15	S 	R	R	R	
 16	S 	S	S	R	

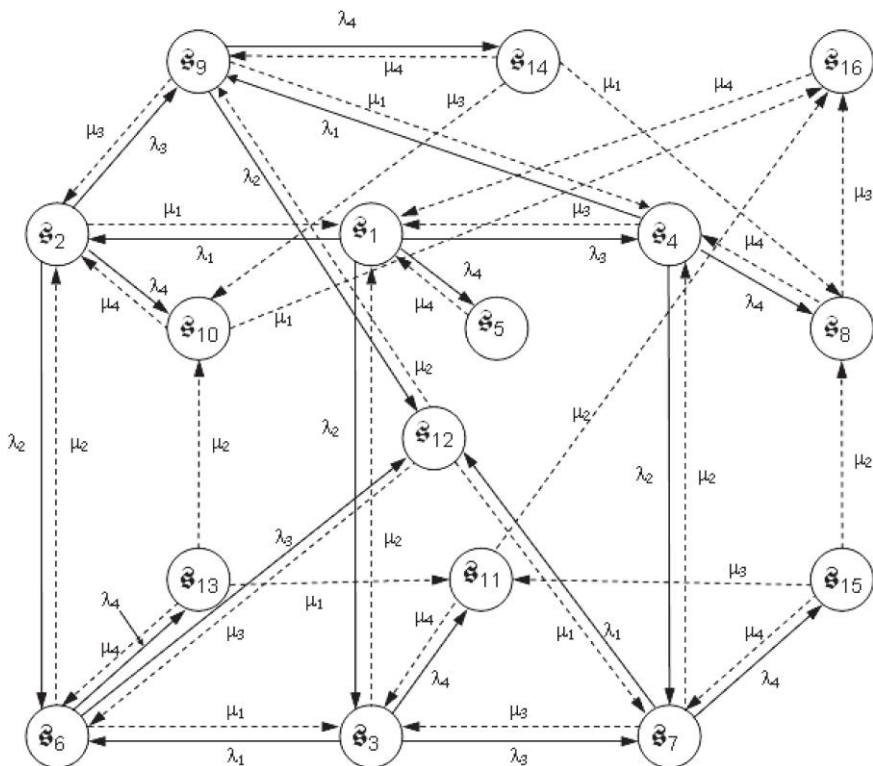


Рисунок 7.8. Граф эксплуатации $\mathfrak{G}$ для процесса эксплуатации системы ската с четырьмя элементами.

Определяя эту матрицу это не проблема построить соответствующие уравнения для определения ограниченных состояний вероятности. Дальнейшая часть процедуры не интересна. ◀

Есть много интересных систем шахты, у элементов которых есть процессы эксплуатации, которые могут быть смоделированы ходом Маркова пробига. Давайте теперь обсудим элементарную систему, известную на обогатительных фабриках.

Пример 7.3

1. Есть система (рисунок 7.9):

$$\mathfrak{S} : \langle e_i, i = 1, 2, 3; \lambda_i, \mu_i; \mathfrak{Q}_1 \rangle$$

Элемент e_1 является экраном. Поток минерала разделен на два различных потока, определявшие диаметры частиц.

Мы хотим проанализировать эту систему.

- Сокращение элементов последовательно не нужно.
- Репертуар эксплуатации $\mathbb{G}$.
 Количество теоретически возможных состояний - $L_t = 23 = 8$. В Таблице 7.3 все состояния перечислены вместе с эффектами.
 Анализируя информацию содержащуюся в этом столе, мы можем прийти к выводу, что только четыре состояния технически выполнимы и только одно, состояние работы системы.
- Граф эксплуатации для системы, которую рассматривают, показывают на рисунке 7.10.
- Справа рисунка 7.10 матрицу переходов между состояниями показывают. Граф эксплуатации, а также матрица переходов между состояниями недвусмысленно указывает, что эта система эквивалентна серийной системе. Это верно, потому что неудача любого элемента означает неудачу системы.

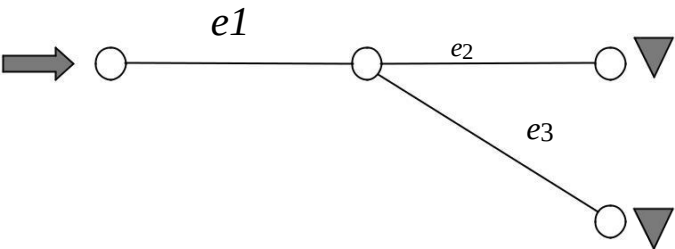


Рисунок 7.9. Схема элементарной системы показана.

Таблица 7.3.Репертуар эксплуатации $\mathbb{G}$ для ската с тремя элементами системы.

Состояние системы	Элемент			Эффект
	e_1	e_2	e_3	
$\mathbb{G}_1$	W	W	W	$I_1 + I_2$
$\mathbb{G}_2$	R	S	S	0
$\mathbb{G}_3$	S	R	S	0
$\mathbb{G}_4$	S	S	R	0
$\mathbb{G}_5$	R	R	W	(-)
$\mathbb{G}_6$	R	W	R	(-)
$\mathbb{G}_7$	W	R	R	(-)
$\mathbb{G}_8$	R	R	R	(-)

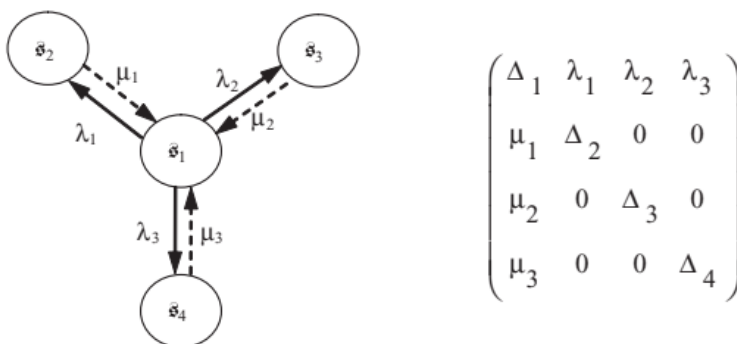


Рисунок 7.10. Граф эксплуатации для элементарной системы экрана.

Вычисление этой системы тривиально.

Давайте теперь проанализируем различную и интересную элементарную систему. В некоторых публикациях это называют как ‘пара элементов’, и эта система несколько раз была интересным местом (Гньеденко 1964 и 1969, Гньеденко и др. 1965, Копоцкий и др. 1973, например). Это может представлять две параллельных линии конвейера, один являющийся запасом для второго. Это может также обозначать системы единицы (гидравлические пункты), которые используются в некотором строительстве мои наматывающие машины. Можно найти некоторые другие системы шахты, в которых такая элементарная система - структурный компонент.

Пример 7.4

1. Есть система

$$\mathcal{S} : \langle e_i, i = 1, 2; \lambda_i, \mu_i; \mathbf{Q}_1, \mathbf{M}_u \rangle$$

Все примечания известны за исключением последнего компонента. Символ $\mathbf{M}_u$ здесь обозначает метод системного применяемого использования.

Схему системы показывают на рисунке 7.11.

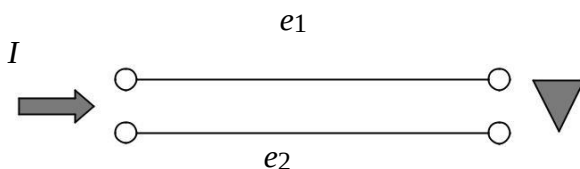
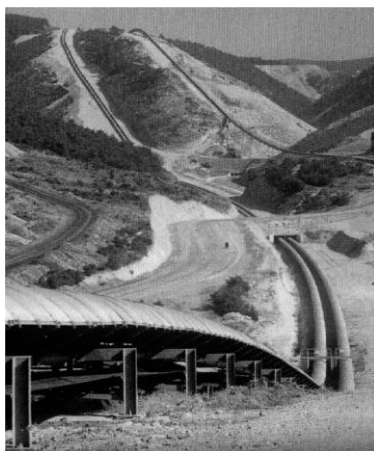


Рисунок 7.11. Схема пары элементов.

Эта система может быть использована несколькими различными способами. Давайте определим трех из них.

- Симметричная пара. Один элемент выполняет свои обязанности, второй проводится в запасе (холодный). Когда неудача происходит в рабочем элементе, второй элемент начинает свои обязанности незамедлительно. Первый элемент находится в состоянии ремонта. Когда ремонт закончен — и возобновление происходит — первый элемент становится запасом. Эта ситуация существует до момента, когда неудача происходит во втором элементе. Ситуация тогда полностью изменена. Неудача системы происходит, когда неудача происходит в рабочем элементе во время ремонта второго элемента.

- Пара в заказе. Один элемент выполняет свои обязанности; второй находится в запасе (холодный). Когда неудача происходит в рабочем элементе, второй элемент начинает свои обязанности. Первый элемент находится в состоянии ремонта. Когда ремонт закончен — и возобновление происходит — этот восстановленный элемент перезапускает свои обязанности снова. Второй элемент становится запасом еще раз — то есть, это - резервный элемент, который будет использоваться, когда первый элемент недоступен. Неудача системы совпадает с в пункте (а). Эта система - иерархическая.

- Элементы наполовину загружены. Давайте предположим, что поток минерала поставлен системе. Вместо того, чтобы полностью загрузить один элемент, оба элемента несут половину груза. Идея этого решения состоит в том, что у полунагруженного элемента должна быть более высокая надёжность, возможно, среднее рабочее время в два раза дольше, чем что одной единственной работы элемента. Очевидно, когда один элемент находится в неудаче, второй берет предельную нагрузку. Неудача системы совпадает с в

(a) и (b).

Важный вопрос может быть сформулирован здесь. Какое решение - лучшее? Или, еще некоторые всесторонние вопросы могли бы быть поставлены. Какие изменения в системных параметрах могут наблюдаться после применения запаса? Какова надёжность этой системы?

Давайте обсудим эти способы системной операции, принимающей во внимание опыт, полученный от добывающей практики.

Главная идея последнего предложения (с) состоит в том, что у полунагруженных элементов будет более высокая надёжность. Эта более высокая надёжность заплатит почти за двойное использование элемента и, дополнительно, заработает прибыль. Исследование показало, что это увеличение надежности обычно маленькое, и эксплуатационная стоимость почти удвоена по сравнению с решением с холодным запасом. Поэтому этот метод не рекомендуется.

Использование системы 'пара в заказе' производит по крайней мере две проблемы. Один элемент находится в запасе, и это не работает на большинство времени. Если конвейер пояса находится в состоянии бездействия в течение долгого времени наблюдаются, некоторые неприятные процессы. Перезапуск производит проблемы. Интенсивность неудач во время этой операции значительно выше, чем во время регулярной транспортировки. Это означает, что проблемы происходят, когда они не должны. Вторая неприятная особенность связана с тем, что после более длительного промежутка времени один конвейер может стать изношенным, в то время как второе — все еще почти новый — стареет, но в различном смысле. Эти два элемента оказываются отличающимися в смысле своих свойств. Они не идентичны с точки зрения надежности. Обычно это решение непрактично, если элементы - механические. Если система состоит из электронных пунктов, эти раздражающие явления не наблюдаются. Но мы не анализируем электронные системы здесь. По этим причинам также не рекомендуется этот способ системного использования.

Третье решение — симметричная пара — выглядит самой практичной на первый взгляд. Элементы изнашиваются в той же интенсивности, и за длительный период времени полное рабочее время будет приблизительно тем же для обоих элементов. Однако для некоторых элементов оборудования, таких как конвейеры пояса этот метод использования неподходящий, потому что они 'слишком надежны'. Неудачи редко происходят, и элемент,

проводимый в запасе, находится часто в этом состоянии в течение долгого времени. Если это происходит, несколько раздражающих явлений могут наблюдаться (большой перекося пояса между бездельниками, местными деформациями пояса, и т.д.). Обычно не хорошо держать механическую систему в состоянии бездействия в течение длительного периода времени. По этим причинам четвертое решение четвертый метод (d) системного использования является лучшим, чтобы принять — чтобы переключить элемент с того, чтобы быть в запасе, чтобы работать, не ожидая отказа произойти. Если это действие будет периодически повторяться с соответствующей частотой, надёжность обоих элементов будет тем же, и проблемы неудачи, связанные с перезапуском, устранены в значительной степени. Стоит отметить, что этот метод системного использования эквивалентен симметричной паре в чувстве надёжности. Поэтому таким решением будет центр к дальнейшим соображениям.

- Сокращение элементов в ряду не применяется.
- Определение репертуара эксплуатации .

Количество теоретически возможных состояний - $L_t = 23 = 9$.

Давайте определим, что репертуар эксплуатации системы, отклоняющей все технически невыполнимые состояния, такие как оба элемента, находится в запасе, один элемент восстанавливается, и второй находится в запасе. Этот репертуар содержится в Таблице 7.4.

4. Все проходы между состояниями, которые технически выполнимы, показывают на рисунке 7.12.

Таблица 7.4. Эксплуатация repertoirefor  симметричная пара элементов.

Состояния системы	Элемент		Эффект
	e_1	e_2	
 1	W	S	I
 2	W	R	I
 3	S	W	I
 4	R	W	I
 5	R	R	0

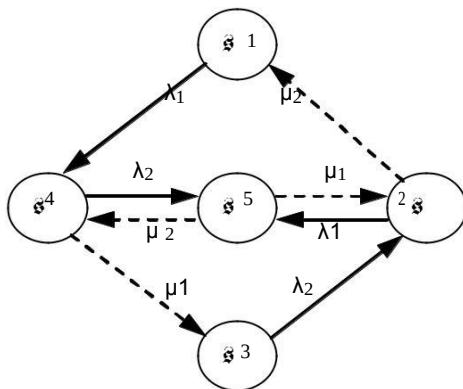


Рисунок 7.12. Граф эксплуатации для симметричной пары элементов.

• Матрица переходов между состояниями для графа эксплуатации, показанного на рисунке 7.12, следующие:

$$\begin{bmatrix} -\lambda_1 & 0 & 0 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_2 & -(\lambda_1 + \mu_2) & 0 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & \lambda_2 & (-\lambda_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_1 & -(\lambda_2 + \mu_1) & \lambda_2 \\ 0 & \mu_1 & 0 & \mu_2 & -(\mu_1 + \mu_2) \end{bmatrix}$$

Если мы предполагаем, что оба элемента системы идентичны с точки зрения надежности — который обычно держится — то есть, $\lambda_1 = \lambda_2$ и $\mu_1 = \mu_2$ тогда, набор установившихся вероятностей, полученных из матрицы:

$$\begin{aligned} P_1 = P_3 \quad P_2 = P_4 \quad P_3 = (\kappa^2 + 2\kappa + 2)^{-1} \\ P_2 = \kappa(\kappa^2 + 2\kappa + 2)^{-1} \quad P_5 = \kappa^2(\kappa^2 + 2\kappa + 2)^{-1} \end{aligned} \quad (7.8)$$

где $\kappa = \lambda/\mu$ является частотой ремонтов элемента.

Давайте определим установившуюся доступность этой системы. Здесь мы имеем:)

$$A(\kappa) = 1 - P_5 = 2 \frac{\kappa + 1}{\kappa^2 + 2\kappa + 2} \quad (7.9)$$

Сравните эту меру по доступности с установившейся доступностью единственного пункта, который определен формулой:

$$A_1 = \frac{1}{1 + \kappa}$$

Сюжет в качестве примера обеих функций показывают на рисунке 7.13.

Преимущество, полученное от применения запасной единицы, явно видимо. Проблема здесь состоит в том, потратили ли фонды, чтобы купить, установить и бежать, этот дополнительный элемент будет, по крайней мере, покрыт прибылью, полученной из-за ее применения.

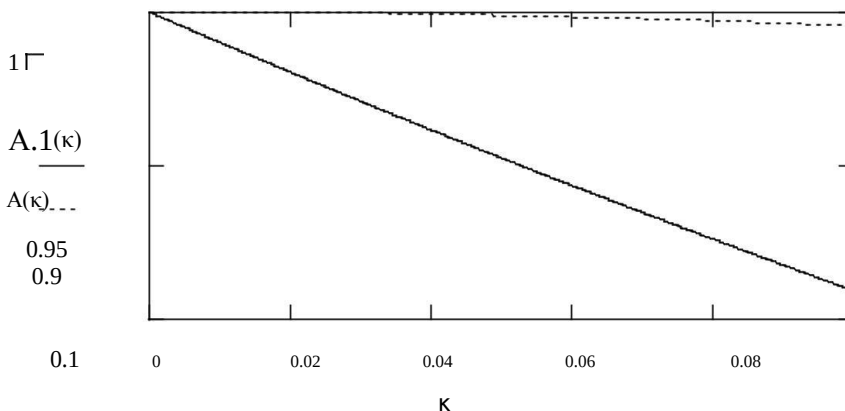


Рисунок 7.13. Установившаяся доступность к системе без запаса $A_1(\kappa)$ и для системы с запасом $A(\kappa)$ как функции частоты ремонтов κ .

Как первая попытка ответить на этот вопрос можно рассмотреть это уравнение:

$$\Delta A \bar{I} \psi T = Z + kT \quad (7.10)$$

где:

ΔA - установившееся приращение доступности

$\bar{I}$ - средний поток минерала, t/d

ψ - средняя цена на минерал, €/t

Z - является стоимостью запаса, €

k - себестоимость единицы продукции операции запаса, €/d T является стоимостью поиска, время, d.

Рассмотрение обеих формул раньше определяло установившуюся доступность, следующая формула может быть получена:

$$\Delta A = \frac{\kappa(\kappa + 2)}{(\kappa + 1)(\kappa^2 + 2\kappa + 2)} \quad (7.11)$$

На первый взгляд формула 7.10 выглядит очевидной. Однако более внимательный анализ показывает, что величины, содержащиеся в этой формуле, нужно рассматривать тщательно. Давайте обратим внимание на некоторые параметры. Обычно, время T долго и поэтому оценка ценностей k , ψ , и γ должен быть сделан точно. За длительный период времени может измениться цена на транспортируемый минерал.

Точно так же себестоимость единицы продукции операции k может измениться. Последний компонент γ более тверд на возможных изменениях из-за очевидных причин.

Давайте пойдем немного далее в наших соображениях. Метод системного использования имеет влияние на работу системы. Лучше, когда элементы работают и не проводят долгое время в состоянии бездействия. Мы можем предсказать, что с хорошим управлением системой, элементы будут работать с надлежащей частотой. Что это означает для системы? В руке есть два индекса надежности. Среднее время ремонта не изменяется, и очевидно интенсивность ремонта также остается неизменной. Таким образом мы можем предсказать, что будет определенное увеличение в среднее время работы. Это означает, что интенсивность неудач λ будет немного ниже.

Давайте выразим системную доступность как функцию обеих интенсивности. Мы имеем:

$$A(\lambda; \mu) = 2\mu \frac{\lambda + \mu}{\lambda^2 + 2\lambda\mu + 2\mu^2} \quad (7.12)$$

где μ - параметр. Рисунок 7.14 показывает сюжеты в качестве примера этой функции для трех разных уровней интенсивности ремонта $\mu_1 = 1$, $\mu_2 = 0.8$ и μ_3

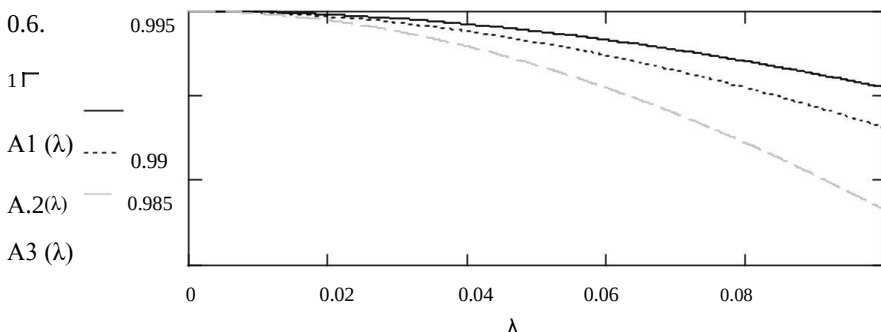


Рисунок 7.14. Установившаяся доступность (λ) системы симметричной пары как функция интенсивности неудач для разных уровней интенсивности ремонта μ ; $\mu_1 = 1$, $\mu_2 = 0.8$ и $\mu_3 = 0.6$.

Мы можем ожидать, что с надлежащим системным использованием, интенсивность неудач λ будет немного уменьшена, и соответствующая ценность A будет немного выше приводить к более высокой системной продукции.

7.4 СИСТЕМНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Соображения, представленные в предыдущих разделах этой главы, главным образом, коснулись всестороннего анализа надежности. Результаты этого анализа используются в качестве основания для системных вычислений, которое является для определения основных параметров эксплуатации этих систем.

Обычно, это интересные места:

- вычисление эффективного полного рабочего времени системы, подсистемы и/или единственного элемента системы
- вычисление эффективного производства производящих земляные работы машин и их систем, буксирующей способности транспортировки средств и способности демпинга, достигнутой конкретными машинами и их системами
- вычисление количества неудач и общего количества восстанавливает времена для системы и подсистемы.



Кроме того, в некоторых случаях соображения также включают:

- анализ системы в соответствии с различными методами использования
- анализ системы, применяя элементы с различными параметрами
- анализ системы, применяя различные системные конфигурации — то есть, различные структуры надежности.

Вычисление полного рабочего времени $T_{j\Sigma}^{(w)}$ данном временном интервале $(0, t)$ элемента j основано на простом уравнении:

$$T_{j\Sigma}^{(w)}(t) = \sum T_{jd} \sum_{j \in B^{(w)}} P_j \quad (7.13)$$

где:

$\sum T_{jd}$ - это общее время утилизации во временном интервале $(0, t)$.

$\sum_{j \in S^{(w)}} P_j$ - это сумма всех вероятностей, связанных с набором (w)

(w) - это набор рабочих состояний j -th элемента.

Заметьте, что эта оценка будет иметь смысл, если этот интервал будет длинен. Кроме того, оценка вероятности, содержащейся в этой формуле, лучше для более длинного периода расследования согласно известному принципу математической статистики.

Так же можно вычислить полное время данного состояния в $(0, t)$ интервал.

Пример 7.1 (продолжение следует).

Вычислите эффективное полное рабочее время на данное полное время распоряжения $T_{j\Sigma}^{(w)}$ для элементов e_1 и e_3 в скате с тремя элементами систем для заданного общего времени утилизации $\sum T_{jd}$

$$T_{1\Sigma}^{(w)}(t) = \sum T_{1d}(P_1 + P_3)$$

Во-первых, мы должны определить ряд состояний работы для этих элементов.

Для элемента e_1 мы имеем $\mathbf{b}_1^{(w)}: \{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_3\}$ и для элемента e_3 мы имеем $\mathbf{b}_3^{(w)}: \{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \mathbf{s}_3\}$.

и

$$T_{3\Sigma}^{(w)}(t) = \sum T_{3d}(P_1 + P_2 + P_3)$$

Эта линия расследования может быть повторена, чтобы вычислить продукцию системы. Легко построить формулу, которая принимает во внимание номинальную продукцию и надёжность данного системного отделения или целой системы.

Пример 7.4 (продолжение следует).

Вычислите системную продукцию, предположив, что метод системного использования „эквивалентен а симметричная пара. Предположите $\kappa = 10^{-2}$, и номинальная продукция элемента составляет 3 000 т/ч.

$$\mathbf{b}_s^{(w)}: \{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_1, \mathbf{s}_3, \mathbf{s}_4\}$$

Мы определяем ряд состояний работы:

Тогда вычислите вероятности:

$$P_1 = P_3 = (\kappa^2 + 2\kappa + 2)^{-1} = 0.495 \quad P_2 = P_4 = \kappa(\kappa^2 + 2\kappa + 2)^{-1} = 4.95 \times 10^{-3}$$

Тогда:

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0.9999$$

Система произвела: $3\,000 \times 0.9999 = 2\,999,7$ т/ч. Это означает, что только 0,1% потеряны.

Обычно вычисление количества неудач данного элемента, подсистемы или целой системы основано на ограниченном распределении вероятности, в то время как нормальный определен формулой 5.26 после соответствующей модификации стоимости времени t (потому что система исследуется здесь).

Точно так же вычисление полного рабочего времени данного элемента, подсистемы или целой системы основано на ограниченном распределении вероятности, и нормальный определен формулой 5.27 после соответствующей модификации стоимости времени t .

7.5 БЫСТРОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ СИСТЕМНОГО ВЫВОДА

Как был указан, анализ системы со многими отделениями утомителен и сложен. Если интересное место - только системная продукция, оно может быть оценено очень легко. Основание для такой оценки - следующее заявление:

Эффективная системная продукция не больше, чем сумма факторов номинальной продукции, умноженной на вероятность транспортировки массы от пункта, где эта масса входит в систему на грани своего распоряжения, предполагая, что все потоки масс текут независимо друг от друга.

Этот принцип, когда преобразовано в формулу:

$$W_{ef}^{(S)} \leq \sum_j W_{ef}^{(j)} = \sum_j W_n^{(j)} \frac{1}{1 + \sum_{i \in j} \kappa_i} \quad (7.14)$$

где:

$W_{ef}^{(S)}$ – эффективный вывод системы

j – j -th поток массы

$\sum_i \kappa_i$ - эта сумма состоит из всех элементов, несущих j -th поток массы.

$W_n^{(j)}$ - номинальный выход первого элемента, принимающего j -th поток массы.

Это означает, что предполагается, что все потоки потока масс через системы элементов, связанных в ряду и установившейся доступности этих базовых систем, должны быть вычислены, применив второй принцип сокращения.

Давайте иллюстрируем примером.

Пример 7.1 (продолжение следует).

Предполагалось, что для системы скала с тремя элементами первый элемент имел номинальную продукцию на 1 200 т/ч, и второй элемент имел производительность на 1 600 т/ч. Давайте оценим систему, произведенную, применяя метод оценки, обрисованной в общих чертах выше.

У нас есть два потока масс. Оценка продукции от первого рабочего лица:

$$\frac{1200}{1 + 149.38 \times 10^{-3} + 17.39 \times 10^{-3}} = 1028 \text{ t/h}$$

и для второго места поколения:

$$\frac{1600}{1 + 142.73 \times 10^{-3} + 17.39 \times 10^{-3}} = 1379 \text{ t/h}$$

По этим причинам системная продукция должна быть не больше, чем:

$$1028 + 1379 = 2\,407 \text{ t/h}$$

Точное вычисление дает оценку продукции 2 405 t/h. Ошибка, совершенная методом оценки, очень небольшая в этом случае.

Заявление, допускающее быструю оценку системной продукции, чрезвычайно практично. Однако нет никакого способа оценить точность этой оценки. Причина этой неопределенности - то, что эта ошибка зависит от свойств затронутой системы: на числе и надежности элементов, применились системная конфигурация, метод использования и метод системного обслуживания.

7.6 ПОЛУМАРКОВСКИЕ СИСТЕМЫ⁷

Это стоящий понимания, что есть другие устройства и некоторые другие системы шахты, которые отличаются от описанных до этого пункта в этой главе, и в которых можно столкнуться непрерывно или почти непрерывно операционное оборудование. Здесь два случая могут быть перечислены, по крайней мере:

- приведенные в действие поддержки используются в подземной угольной промышленности
- системы, включающие погрузку машины и дробилки и непрерывной перевозки типа конвейера пояса, который используется, главным образом, в поверхностной горной промышленности.

Возможно, система (а) не соответствует на первый взгляд, и требуется больше внимания, чтобы признать его эксплуатацию. Давайте посмотрим на метод операции единственной единицы приведенной в действие поддержки. С момента его размещения в рабочем лице и с момента, когда подходящее давление помещено в гидравлическую систему, приведенная в действие поддержка работает в лице непрерывно. Иногда некоторые неудачи происходят, иногда восстанавливают, обязательно, но это не аннулирует то, что поддержка — в стохастическом смысле — почти постоянно выполняет свои обязанности. И поэтому это может быть посчитано в категории проанализированных устройств. К сожалению, времена состояний

приведенной в действие поддержки не показательны во многих случаях и из-за этого факта, процессы Маркова не могут быть применены, чтобы описать его действие в целом.

Некоторое дополнительное объяснение должно также быть дано о системе (b). Есть некоторые системы оборудования этого типа в операции, где материал загружен совком власти непосредственно в дробилку на поисковых роботах, которая следует за смещением машины погрузки. Ситуация здесь немного подобна системе машины победы — непрерывный шахтер рабочий метрополитен плюс подсистема бронированных конвейеров полета, вползающих старательно на поисковых роботах после машины победы. Система (b) используется в поверхностной горной промышленности, и у погрузки есть циклический характер. Кроме того,

⁷Теоретические соображения в этой главе возникли после консультаций с профессором Лимнайосом и профессором Братиичуком.

подсистема конвейеров пояса зафиксирована, непрерывно получая поток большой части от классификатора. В некоторых системах этого вида beltwagon применен как связь между дробилкой и подсистемой конвейера пояса. Хотя эксплуатация конвейеров пояса в этой системе может обычно описываться процессами Маркова, в некоторых случаях операция дробилок соответствует системе Маркова, в некоторых случаях это не делает. Точно так же процесс изменений состояний совка власти иногда имеет тип Маркова, но время от времени времена ремонта не могут быть описаны удовлетворительно показательным распределением (монография Чаплицкий 2009). Поэтому процессы Маркова могут часто быть бесполезными. Поэт

ому проблема возникает относительно того, какие виды математических инструментов должны примененный, чтобы проанализировать такие системы. В этих случаях процессы Маркова слишком просты, и должен использоваться более продвинутый метод.



Если состояния в данном процессе взаимно независимы с точки зрения времен, теория Полумарковский процессов может быть применена.

У систем Семи-Маркова есть большое преимущество, что они намного более общие, чем системы Эрланг-ian, которые рассмотрят в Главе 8.6; однако, некоторая связь с процессами Маркова остается. Прежде чем мы начнем анализировать эти системы, мы должны сначала определить дополнительный

термин, который будет требоваться — цепь Маркова. Его значение может быть объяснено следующим образом.

Там дан ряд состояний $\mathfrak{s} = \{\mathfrak{s}_1, \mathfrak{s}_2, \dots, \mathfrak{s}_n\}$. Процесс начинается в одном из этих состояний и перемещается последовательно от одного состояния до другого. Каждое движение называют *шагом* или *скачком*. Если процесс находится в настоящее время в состоянии $\mathfrak{s}_i$, то это перемещается, чтобы указать $\mathfrak{s}_j$ в следующем шаге с вероятностью, обозначенной p_{ij} , и эта вероятность не зависит от состояния, что процесс был в перед текущим состоянием (memoryless с обшвенность).

Вероятности p_{ij} называют вероятностями перехода. Процесс может остаться в состояние i с вероятностью p_{ii} . Начальное распределение вероятности, определенное на $\mathfrak{s}$, определяет стартовое состояние. В непрерывном космосе распределение вероятности, у которого есть отсутствие последействия, является показательным распределением, тогда как в дискретном космосе у него есть геометрическое распределение. Процесс называют 'цепью', потому что не только дискретные состояния, но и моменты, когда скачки происходят, также дискретны.

Имея идею цепи Маркова, определение Полумарковского процесса может быть дано.

Полумарковский процесс - вероятностный процесс $X(t)$ с конечным или исчисляемым набором состояний с наличие пошагово траекторий со скачками время от времени $0 < \tau_1 < \tau_2 < \dots$ таким образом что:

- Ценности $X(\tau)$ в его скачке времена формируют цепь Маркова с вероятностями перехода:

$$p_{ij} = P\{X(\tau_n) = j \mid X(\tau_{n-1}) = i\}$$

- Распределения скачков τ_n описаны с точки зрения функций распределения $F_{ij}(t)$ следующим образом:

$$P\{\tau_n - \tau_{n-1} \leq t, X(\tau_n) = j \mid X(\tau_{n-1}) = i\} = p_{ij} F_{ij}(t)$$

Этот процесс называют Полумарковским одним (см. Королюка и Турбина 1976, Лимниос и Оприс, an 2001, Харламов 2008).⁸

⁸Полумарковские процессы были введены Леви (1954) и Смит (1955). Такас (1954, 1955) исследовал подобные процессы. Начало теории полумарковских процессов было, главным образом, положено Пайком (1961a, b), Пайком и Шауфеле (1964), Гинклар (1969) и Королюк и Турбин (1976).

Это имеет практическое значение, чтобы подчеркнуть, что состояния в этом типе процесса взаимно независимы.

Если $F_{ij}(t)$ показательны, то Полумарковский процесс - непрерывно-разовая цепь Маркова или короче говоря процесс Маркова. Если все распределения ухудшаются до определенного момента, результат - дискретное время цепь Маркова. В аналитических терминах расследование

Полумарковских процессов может быть уменьшено до системы интегральных уравнений (Королук и Турбин 1976).

Анализируя определение легко прийти к заключению, что у класса Полумарковских процессов есть большая стоимость — степень обобщения действительно довольно высока. Однако расстояние от теории до практики — как во многих случаях — не короткое и иногда трудное. Если есть много состояний, и они выполняют все условия, указывающие, что их процесс изменений может быть классифицирован как Полумарковская система, анализ такого процесса довольно утомительный и отнимающий много времени. Кроме того, такой анализ главным образом интересен для исследователей, которые вовлечены в определенные расследования, которые рассматривают; есть немного смысла в публикации анализа. Если определенная проблема, имеющая связь с практикой, была решена, это короткое и относительно коммуникативное; на это указали во многих публикациях (см., например, Боуфиша и др. 1996, Боуфиша и Лимниос 1997, Лимниос и Оприан 2001 или Броди и Погосян 1973, Барлоу и Прошан 1975, Грабский и Явиский 2001).

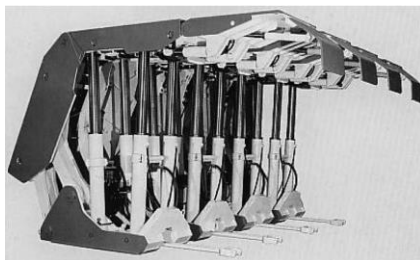
Теперь, мы можем возвратиться к моделированию и анализу одной из систем, перечисленных в начале этой главы — единственная единица приведенной в действие поддержки. Проблема, представленная здесь, значительно упрощена по сравнению с дилеммой, как первоначально сформулировано. Причины такого подхода будут приведены позже.

Расследование эксплуатации, выполненное на данных, взятых от подземной операции приведенных в действие поддержек, показало (Узар 2001), что все неудачи, которые произошли в этом элементе оборудования, могли быть разделены на два отдельных состояния: полная неудача, что означает ремонт и частичную неудачу, где поддержка все еще работала. Поэтому репертуар эксплуатации $\mathbb{G}$ может быть определен как:

$$\mathbb{G} : < \mathbb{s}_2, \mathbb{s}_1, \mathbb{s}_3 >$$

где:

- $\mathbb{s}_1$ ремонт
- $\mathbb{s}_2$ работа
- $\mathbb{s}_3$ частичная неудача/работа.



Поскольку эмпирические расследования выставили, объект с частичной неудачей не восстановлен, как правило. Это работает до момента, когда полная неудача происходит. Такое событие - сигнал начать ремонтные работы: поддержка не выполняет свои обязанности, она не работает.

Граф эксплуатации, иллюстрирующий возможные переходы между этими состояниями, показывают на рисунке 7.15. Номер 1 около данной стрелы означает, что только одна возможность существует, чтобы пройти от одного конкретного состояния до различного.

Поскольку поддержка в состоянии работы может или потерпеть неудачу частично или потерпеть неудачу полностью, соответствующие вероятности были приписаны этим двум событиям, обозначенным p_{21} , если проход был в зависимости от состояния s_2 s_1 и p_{23} , если проход был в зависимости от состояния s_2 s_3 . Вероятности этих двух состояний, очевидно, закрыты для единства. Также стоит помнить, что оба состояния - состояния работы.

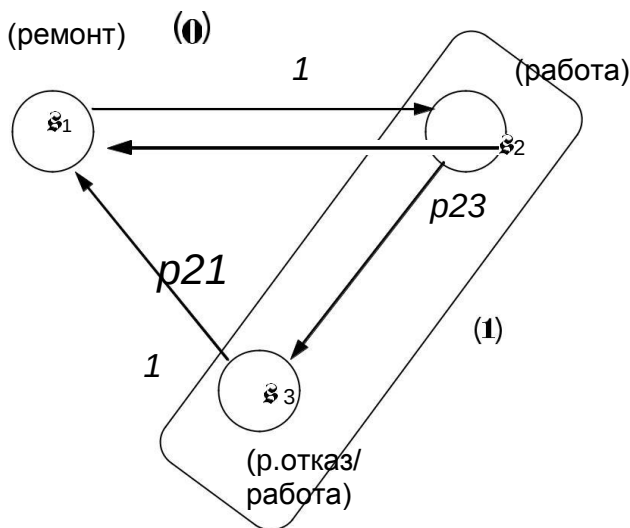


Рисунок 7.15. Граф эксплуатации приведенной в действие поддержки — возможные переходы между состояниями.

Расследования эксплуатации приведенных в действие неудач поддержки (Узар 2001, Маркович 2003, Ясчук и др. 2004, например) позволили ему быть доказанным, что времена этих состояний могут быть удовлетворительно описаны семей Уейбулл функций.

Вспомните, у случайной переменной есть распределение Уейбулл, если его плотность распределения вероятности может быть описана этой формулой:

$$q(t) = \frac{\delta}{\eta^\delta} x^{\delta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\delta} \quad \text{if } t \geq 0 \quad (7.15)$$

Параметр δ является параметром формы, и η - масштабный коэффициент. Распределение Уейбулла обозначено $W(\delta, \eta)$. Сюжеты распределения Уейбулла для различных ценностей параметров показывают на рисунке 7.16.

Заключительная информация, которая необходима, чтобы определить процесс эксплуатации изменений состояний для приведенной в действие поддержки как Полумарковский процесс, является взаимной независимостью составляющих состояний.

Данные, собранные от нескольких шахт, позволили гипотезу, объявив, что эта регулярность проверена, и не было никакой территории, чтобы отклонить эту гипотезу. Поэтому мы можем предположить, что интересное место с этого времени - Полумарковский процесс.

Это известно из теории (например, Гньеденко и Коваленко 1966, Королюк и Турбин 1976, Лимниос и Оприан 2001), что Полумарковский процесс хорошо определен, если его две особенности даны:

- начальное распределение вероятности
- Полумарковское ядро.

Полумарковское ядро определено следующим образом.

Позвольте $\mathfrak{N} = \{1, 2, \dots\}$, $\mathfrak{N}_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$, $\mathfrak{N}_+ = [0, \infty)$ и позвольте $\mathfrak{s}$, обозначает конечный или исчисляемый набор состояний.

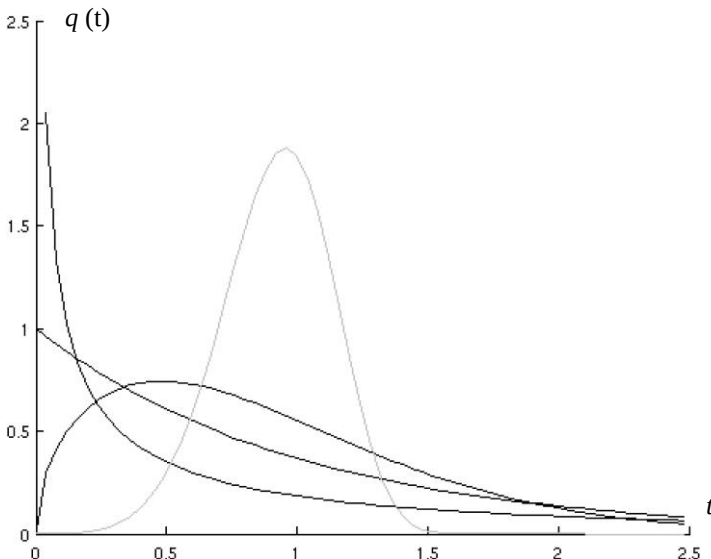


Рисунок 7.16. Плотности распределения вероятности Уейбулла печатают для различных ценностей параметров.

Полумарковское ядро - матрица:

$$\mathbf{Q}(t) = [\hat{Q}_{ij}(t) : i, j \in \mathfrak{S} \times \mathfrak{S}] \quad (7.16)$$

Это имеет в качестве своих элементов функции $\hat{Q}_{ij}(t), t \in \mathfrak{T}_+$, которые соответствуют следующим условиям: i. для всех пар $(i, j) \in \mathfrak{S} \times \mathfrak{S}$, $\hat{Q}_{ij}(t)$ это не уменьшающиеся, правильные непрерывные реальные функции.

- ii. для всех пар $(i, j) \in \mathfrak{S} \times \mathfrak{S}$, $\hat{Q}_{ij}(0) = 0$ как и для каждого $t \in \mathfrak{T}_+$ $\hat{Q}_{ij}(t) \leq 1$
 iii. для всех пар $i \in \mathfrak{S}$ $\lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{j \in \mathfrak{S}} \hat{Q}_{ij}(t) = 1$.

Если так, мы почти готовы определить наше Полумарковское ядро.

Единственный остающийся пункт - определение вероятностей p_{21} и p_{23} .

На основе полного принципа вероятности держится следующее уравнение:

$$p_{21} = 1 - p_{23} = \int_0^{\infty} [1 - Q_{23}(t)] q_{21}(t) dt \quad (7.17)$$

Таким образом матрица переходов между состояниями для Полумарковского процесса для приведенной в действие поддержки:

$$\mathbf{Q}(t) \begin{pmatrix} 0 & \hat{Q}_{12}(t) & 0 \\ \hat{Q}_{21}(t) & 0 & \bar{Q}_{23}(t) \\ \hat{Q}_{31}(t) & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad 0 \quad (7.18)$$

где:

$$\hat{Q}_{12}(t) = Q_{12}(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta_1} \right)^{\delta_1} \right] \quad (7.19a)$$

$$\hat{Q}_{21}(t) = p_{21} Q(t) \quad Q_{21}(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta_{21}} \right)^{\delta_{21}} \right] \quad (7.19b)$$

$$\hat{Q}_{23}(t) = p_{23} Q(t) \quad Q_{23}(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta_{23}} \right)^{\delta_{23}} \right] \quad (7.19c)$$

$$\hat{Q}_{31}(t) = Q_{31}(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta_3} \right)^{\delta_3} \right] \quad (7.19d)$$

где $\delta_{12}, \delta_{21}, \delta_{23}, \delta_{31}, \eta_{12}, \eta_{21}, \eta_{23}, \eta_{31}$ являются структурными параметрами функций.

Распределения вероятности $Q_{ij}(t)$ касаются следующих случайных переменных: $Q_{12}(t)$ — приведенный в действие ремонт поддержки

$Q_{21}(t)$ — приведенное в действие рабочее время поддержки до возникновения полной неудачи

$Q_{23}(t)$ — приведенное в действие рабочее время поддержки до возникновения частичной неудачи

$Q_{31}(t)$ — приведенное в действие рабочее время поддержки с частичной неудачей до возникновения полной неудачи.

Чтобы получить полностью определенный Полумарковский процесс для приведенной в действие поддержки, начальное распределение вероятности должно быть дано. Можно предположить что:

$$\alpha = (\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3) = (0 \ 1 \ 0) \quad (7.20)$$

что означает, что мы предполагаем, что в начале операции поддержка была хороша — то есть, в состоянии работы без любой неудачи — и следующее примечание предполагается:

$$\alpha = (\alpha_0 \alpha_1) \alpha_0 = \alpha_1 \alpha_1 = (\alpha_2 \alpha_3) \quad (7.21)$$

Чтобы иллюстрировать принцип переходов между состояниями, мы можем взглянуть на рисунок 7.17. С математической точки зрения определение процесса решает проблему, но в технической области мы интересуемся получением оценки некоторых основных параметров объекта, таких как среднее время между неудачами, среднее время ремонта, и т.д.

Чтобы построить соответствующие формулы, позволяющие интересные оценки этих параметров быть достигнутыми, два дополнительных компонента, взятые из теории Полумарковских процессов, необходимы, а именно: — вложенная цепь Маркова для Полумарковского процесса, который рассматривают — ergodic9 распределение вероятности этой цепи.

Позвольте $x(t)$, $t \geq 0$, будьте гомогенным временем скачком процесс Маркова. Позвольте τ , $n \geq 0$ быть временами скачка для

который мы имеем $0 = \tau_0 \leq \tau_1 \leq \dots \leq \tau_n \leq \dots$ n

Вероятностный процесс x_n , $n \geq 0$ определенных:

$$x = {}_n x(\tau)_n, \quad n \geq 0$$

называется вложенной цепью Маркова марковского процесса обрабатывают $x(t)$, $t \geq 0$.

Теперь, мы приходим к строительству вложенной цепи Маркова для Полумарковского процесса, который является пунктом нашего интереса.

⁹ Теория вероятности, постоянный эргодический процесс - вероятностный процесс, который показывает и Стационарность и ergodicity. В сущности это подразумевает, что вероятностный процесс не будет изменять свои статистические свойства со временем (или другой параметр процесса) и что его статистические свойства (такой как теоретическое среднее и различие процесса) могут быть выведены из единственного, достаточно длинного образца (реализация) процесса.

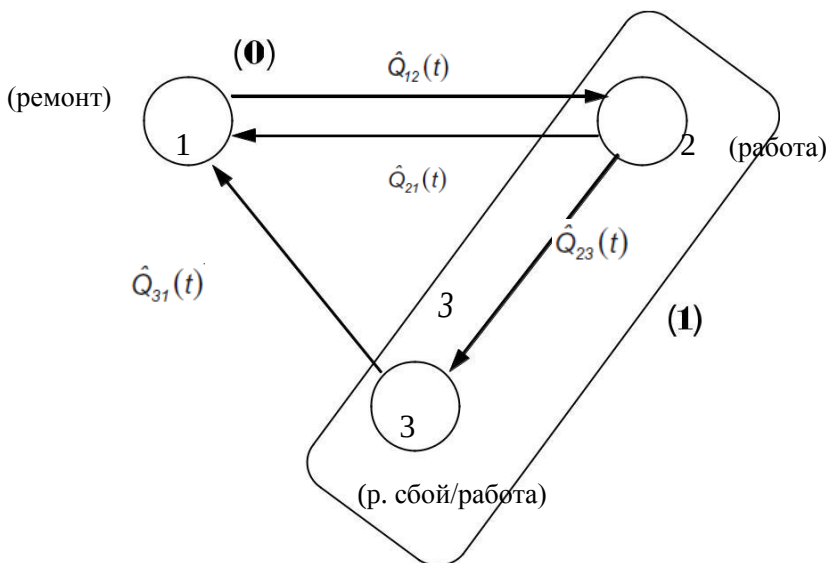


Рисунок 7.17. Граф эксплуатации приведенной в действие поддержки — принцип переходов между состояниями.

Взгляд на рисунок 7.15. У нас есть два состояния: **0** что означает ремонт и **1** что означает работу, и это состояние состоит из двух подсостояний. Принцип строительства этой цепи полагается на производство следующей матрицы вероятностей:

$$\mathfrak{P} = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boxed{\text{От } 0 \text{ к } 0} & \boxed{\text{От } 0 \text{ к } 1} \\ \boxed{\text{От } 1 \text{ к } 0} & \boxed{\text{От } 1 \text{ к } 1} \end{pmatrix}$$

это приводит к¹⁰:

$$= \begin{pmatrix} \boxed{0} & \boxed{1 \ 0} \\ \boxed{P_{21}} & \boxed{0 \ P_{23}} \\ \boxed{1} & \boxed{0 \ 0} \end{pmatrix} \quad (7.22)$$

где то, что состояние 1 состоит из двух подсостояний, принято во внимание.

Теперь, мы собираемся найти эргодическое распределение вероятности — обычно обозначаемым Π — для этой цепи Маркова.

Следующее матричное уравнение держится:

$$\Pi \mathbf{P} = \Pi \quad (7.23)$$

Распределение вероятности Π состоит из трех элементов — вероятностей потому что у нас есть три состояния процесса:

- Эта матрица отличается от матриц, которые рассматривают в Главе 7, где главная диагональ состояла из отличных от нуля элементов, которые представляли интенсивность оставления в данном состоянии.

$$\Pi = (\Pi_1 \Pi_2 \Pi_3)$$

Изменяя уравнение 7.23 в координационную форму мы имеем:

$$\begin{cases} -\Pi_1 + \Pi_2 p_{21} + \Pi_3 = 0 \\ \Pi_1 - \Pi_2 = 0 \\ \Pi_2 p_{23} - \Pi_3 = 0 \end{cases} \quad (7.24)$$

К сожалению, этот набор уравнений неопределимый. Поэтому необходимо отклонить одно уравнение и заменить его уравнением, закрывающим все вероятности к единству (см. Главу 7.1).

$$\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 = 1$$

Решая этот набор уравнений, мы имеем:

$$\Pi_2 = \Pi_1 = \frac{1}{2 + p_{23}} \quad \Pi_3 = \frac{p_{23}}{2 + p_{23}} \quad (7.25)$$

Первый набор интересных параметров, которые будут определены, является рядом средних времен состояний. Этот набор, очевидно, состоит из трех уравнений: где m_1 - математическое ожидание состояния ремонта, m_2 - математическое ожидание состояния работы, и m_3 - математическое ожидание состояния работы, но с частичной неудачей.

Мы можем построить матрицу из этих средних ценностей:

$$\left\{ \begin{aligned} m_1 = m_{12} &= \int_0^{\infty} x dQ_{12}(x) dx = \eta_{12} \Gamma \left(\frac{1}{\delta_{12}} + 1 \right) \\ m_2 = p_{21} m_{21} + p_{23} m_{23} &= p_{21} \int_0^{\infty} x dQ_{21}(x) dx + p_{23} \int_0^{\infty} x dQ_{23}(x) dx \\ &= p_{21} \eta_{21} \Gamma \left(\frac{1}{\delta_{21}} + 1 \right) + p_{23} \eta_{23} \Gamma \left(\frac{1}{\delta_{23}} + 1 \right) \\ m_3 = m_{31} &= \int_0^{\infty} x dQ_{31}(x) dx = \eta_{31} \Gamma \left(\frac{1}{\delta_{31}} + 1 \right) \end{aligned} \right. \quad (7.26)$$

$$m = (m_1, m_2, m_3) = (m_0, m_1) \quad m_0 = m_1 \quad m_1 = (m_2, m_3) \quad (7.27)$$

это будет полезно в дальнейшем рассуждении.

Имея ценности (Π_1, Π_2, Π_3) и (m_1, m_2, m_3) эргодическое распределение вероятности для полу -

Процесс Маркова может быть определен. Это состоит из следующих элементов:

$$\rho_1 = \frac{\Pi_1 m_1}{M} \quad \rho_2 = \frac{\Pi_2 m_2}{M} \quad \rho_3 = \frac{\Pi_3 m_3}{M} \quad (7.28)$$

Где:

$$M = \Pi_1 m_1 + \Pi_2 m_2 + \Pi_3 m_3 \quad (7.29)$$

Наличие этих параметров Полумарковский процесс обрабатывает, мы можем определить дальнейшие представляющие интерес параметры для технической практики.

Средним временем к полной неудаче (ремонт) дают:

$$MTTFF = \alpha_1 (I - P_{11})^{-1} m_1 \quad (7.30)$$

Средним временем к любому возникновению неудачи дают: где $I = \text{diag} (1, \dots, 1)$. Именно по этой причине:

$$MTTFF = (\alpha_2, \alpha_3) \begin{pmatrix} 1 & p_{21} \\ 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} m_2 \\ m_3 \end{pmatrix} \quad (7.31)$$

Среднее время возникновения любого сбоя определяется как:

$$MTTF = \alpha_2(I - P_{00})^{-1} m_2 = m_2 \quad (7.32)$$

В дополнение к средним временам интересные параметры надежности связаны с возникновением неудач. Здесь две меры значительные.

Интенсивность ухода из состояния $\mathfrak{S}_2$:

$$\lambda_{2 \rightarrow} = \frac{1}{m_{21}p_{21} + m_2p_{23}} \quad (7.33)$$

и интенсивность неудач процесса, который определен уравнением:

$$\lambda = \frac{1}{p_{21}(m_{21} + m_{12}) + p_{23}(m_{23} + m_{31} + m_{12})} \quad (7.34)$$

Знаменатель принимает во внимание все возможные проходы от состояния работы $\mathfrak{S}_2$ до другого состояния и возвращения в состояние $\mathfrak{S}_2$. В случае, который рассматривают, это может быть $\mathfrak{S}_2 \rightarrow \mathfrak{S}_1 \mathfrak{S}_2$ и это происходит с вероятностью p_{21} . Другая возможность - последовательность $\mathfrak{S}_2 \rightarrow \mathfrak{S}_3 \mathfrak{S}_1 \mathfrak{S}_2$, и это происходит с вероятностью p_{23} . Таким образом эта интенсивность принимает во внимание полный стохастический цикл Полумарковского процесса.

Установившаяся доступность, которая является вероятностью, что приведенная в действие поддержка находится в состоянии $\mathfrak{S}_2$ или состоянии $\mathfrak{S}_3$:

$$A = P\{\mathfrak{P}(\mathfrak{S}) \subset \mathfrak{S}_2 \cup \mathfrak{S}_3\} = P\{\mathfrak{P}(\mathfrak{S}) \subset \mathbf{1}\} = \rho_2 + \rho_3 \quad (7.35)$$

Теперь, мы попытаемся поместить эту модель в добывающую действительность, которая, к сожалению —, как обычно — намного более сложна, особенно где приведенные в действие поддержки затронуты.

Давайте начнем наши соображения из заявления, что у каждого рабочего лица есть свое собственное время эксплуатации. После определенного периода закончена жизнь рабочего лица. В данный момент управление шахтой должно решить, что сделать со всем оборудованием, которое работало в этом лице. В большинстве случаев оборудование перемещено в новый рабочий пункт, используя вспомогательные виды транспорта, такие как те, которые были описаны в Главе 4.1. Некоторые машины транспортируются неповрежденные, но некоторые должны быть демонтированы в фигуры, которые более легко передвинуть. Когда эти элементы демонтированных машин достигают своего места назначения, они повторно собраны. Все элементы оборудования, перед заключительной установкой, рассмотрены, восстановлены в случае необходимости и приспособлены. Некоторые профилактические действия обычно делаются.

С теоретической точки зрения в данный момент регенерация процессов эксплуатации этих машин берет место.¹¹ Самый простой случай, когда регенерация полная и в горной промышленности разработки — если регенерация принята во внимание — этот тип регенерации рассматривают почти исключительно. Если это верно, можно предположить, что эксплуатация обрабатывает запуски с начала. Если у данного процесса эксплуатации есть много пунктов регенерации, можно обычно предполагать, что мы наблюдаем много стохастических копий того же процесса.

Давайте посмотрим более внимательно на процесс ношения одежды приведенной в действие поддержки. Эта часть оборудования построена из многих элементов. Некоторые из них можно заменить после неудачи или можно рассматривать как новые после ремонта. Но у некоторых есть ношение процессов различной природы. Накопление эффектов ношения одежды наблюдается. После ремонта пункт не то же как новое, но имеет немного худшие свойства — то есть, после ремонта, пункт не так хорош как новый. В результате с точки зрения надежности, интенсивность неудач не постоянная, но является функцией времени, и это увеличивается со временем. Однако интенсивность неудач не изменяется непосредственно пропорционально со временем, идя непрерывно вниз, но это понижается постепенно, но только к определенному уровню. Эта ситуация немного подобна наблюдаемому в процессе эксплуатации грузовиков (см. Кроуфорда 1979). Обычно, управление шахтой не интересуется использованием оборудования с очень низкой надёжностью. Однако в некоторых бедных странах некоторые части мое оборудование действительно низкой надежности находится все еще в операции, производящей много проблем. Во многих странах принцип считает, что приведенная в действие поддержка остается в использовании до конца операций в данном лице, даже когда эта часть оборудования имеет низкое качество. Объяснение для этого отношения связано с тем, что общий ремонт поддержки требует большого количества времени (иногда даже несколько дней) и останавливает все операции в лице. Большие потери неизбежны.

Давайте продолжим рассмотрение операции приведенной в действие поддержки. Наблюдение за добывающей практикой указывает, что регенерация процесса эксплуатации теперь замечается более часто. Во многих добывающих странах стандарт считает, что после нескольких дней операции одно изменение посвящено всестороннему обслуживанию всех разделов приведенной в действие поддержки, работающей в данном рабочем лице. Если этот элемент оборудования новый или почти новый, это обслуживание сделано после более длинных интервалов; для поддержек, которые использовались в течение долгого времени, это обслуживание делается намного более часто. И здесь снова, можно предположить, что регенерация происходит. По этим причинам мы можем подозревать, что модель, представленная выше захватов для двух соседних регенераций, указывает только. Поэтому мы можем предположить, что здесь у нас есть неустойчивый процесс эксплуатации, подобный найденному в операции подъемов. Однако в

случае подъемов, перерывы регулярно делаются, и они столь частые, что предполагается, что их эксплуатация обрабатывает пробеги непрерывно удаление запланированного бездействия и что их эксплуатационные параметры, такие как интенсивность неудач, постоянные. Мы можем поставить вопрос здесь, может ли тот же подход быть принят в случае операции приведенной в действие поддержки. Поскольку частота общего обслуживания не происходит так же часто как при подъемах, мы колеблемся от ответа на этот вопрос. Но, что происходит, когда мы предполагаем, что не можем повторить подход, проявленный с подъемами? Это означает, что каждая копия процесса эксплуатации - уникальная и никогда не повторяется. И это столь коротко в продолжительности, что оценка ее основных параметров будет очень плоха из-за небольшого размера образцов. Таким образом единственное решение состоит в том, чтобы предположить, что интенсивность неудач приведенной в действие поддержки постоянная вовемя, будучи полностью осведомленной о том, что это - приближение только. Анализ процесса эксплуатации поддержки может быть сделан таким способом.¹²

Эти частые пункты регенерации имеют влияние на манеру оценки некоторых параметров. Интенсивность неудач, например, определенный уравнением 7.34, действительна в течение устойчивого периода процесса (эргодическая особенность), который является в течение длительного периода

11Регенерация в процессе эксплуатации систем грузовика совка была исследована в монографии Чаплицкий (2009, стр 92–93).

12Понять, как важный это должно держать разделы приведенной в действие поддержки в надлежащем состоянии, достаточно указать, что в Польше у нас есть приблизительно 130 longwalls, состоявшие приблизительно из 18 000 разделов.

эксплуатация поддержки. Однако имея в виду регенерацию, в некоторых случаях интенсивность, в зависимости от времени, которое определено уравнением, может быть более интересной:

$$\lambda(t) = \frac{-R'(t)}{R(t)} \quad (7.36)$$

где $R(t)$ является функцией надежности во время $t \geq 0$.

Здесь некоторые комментарии необходимы в связи с этими двумя интенсивностью неудачи. Функция, определенная уравнением 7.36 — обычно, вызывала функцию опасности — объекты проблем, работающие до первого возникновения неудачи. Это - условная вероятность возникновения неудачи в единице времени при условии, что до этого момента не было никакой неудачи. Другая интенсивность неудач, определенных уравнениями 5.7 или 7.33, например, является безоговорочными вероятностями возникновения неудачи в единице времени, если эта единица соответственно маленькая (Гньеденко и др. 1965). По этим причинам у функции 7.36 есть местный характер только потому, что она касается объекта, который является поддающимся ремонту.

Мы опускаем здесь метод получения формулы для $R(t)$ данный Лимниос и Оприан §(2001 р. 5.4). Для случая, который рассматривают, это:

$$R(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -p_{23}Q(t) \\ 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 - p_{21}Q_{21}(t) - p_{23}Q_{23}(t) & 0 \\ 0 & 1 - Q_{31}(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7.37)$$

$$= 1 - p_{21}Q_{21}(t) - p_{23}Q_{23}(t)Q_{31}(t)$$

Процесс эксплуатации приведенной в действие поддержки может даже быть намного более сложным. Если операция в данном лице прогрессирует, и шов руды встречает геологический разлом, условия эксплуатации поддержки изменяются решительно. Действующие силы могут радикально отличаться — и часто очень, могут быть намного больше. Точно так же мы можем наблюдать значительно огромные изменения в действующих силах на приведенной в действие поддержке, если рабочее лицо пересекает область под влиянием, произведенным очистной работой, выкапываемой выше лица. Некоторые разнообразные зоны с различными физическими свойствами могут существовать в массах вмещающей породы, и они могут произвести существенные изменения в силах, действующих на поддержку. Все эти события, происходящие во время действия поддержки, изменяют ее условия труда существенно, и интенсивность неудач преобразовывает в значительной степени; несомненно — это не постоянно. И здесь снова, физический прогресс лица - лучший параметр, чем процесс времени.

Если мы дополнительно принимаем во внимание, что данный раздел почти всегда не работает один, но в системе, которая включает комбинацию других элементов оборудования, работающих в данном лице, мы можем легко прийти к выводу, что моделирование процесса эксплуатации приведенной в действие поддержки очень трудное и большая проблема для исследователей надежности.

Поэтому в настоящее время давайте сделаем анализ процесса эксплуатации приведенной в действие поддержки, используя модель, представленную в этой главе.

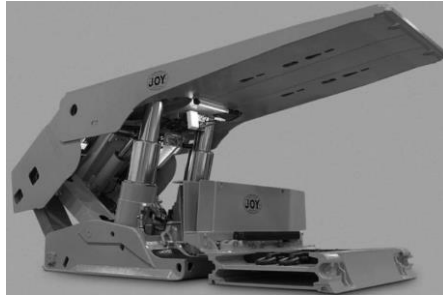
Пример 7.5

Четыре идентичных приведенных в действие поддержки наблюдались в течение шести месяцев эксплуатации. Все неудачи и ремонтные работы были отмечены. Времена всех состояний были зарегистрированы. Данные собрались созданный четыре последовательности из реализации случайных переменных.

Во-первых, статистическая гипотеза была сформулирована, указав, что собранные данные не были связаны со временем записи, которая является последовательностями, постоянные.

Тест, используя коэффициент корреляции разряда Спирмана позволил предположение, что последовательности не коррелируются со временем.

Вторая фаза предварительного анализа была сосредоточена на однородности данных для каждого состояния отдельно. Тест Краскол-Уоллиса не дал территории, чтобы отклонить сформулированную гипотезу.



Поэтому данные рассматривали как гомогенные, и соответствующие последовательности были собраны.

Синтез данных был начат с оценки двух основных статистических параметров: среднее и стандартное отклонение. Результаты оценки дали эти результаты:

- среднее время ремонта: $\bar{m}_{12} = 115$ мин.
- среднее рабочее время: $\bar{m}_{21} = 129910$ мин.
- среднее время работы до сбоя: $= 40270$ мин.
- среднее время работы без ремонта: $\bar{m}_{23} = 70660$ мин.

Следующий шаг включил поиск теоретических распределений вероятности, которые описали эмпирическое распределение наблюдаемых случайных переменных удовлетворительно. Семья Уейбулла функций была отобрана, и структурные параметры функции были оценены на основе метода моментов — как первый шаг — и позже метод большей части вероятности был применен, чтобы найти заключительные оценки этих параметров. Результатам исследований показывают 7.18 в цифрах 7,21.

Эти оценки неизвестных структурных параметров плотностей распределения вероятности - основная информация, необходимая, чтобы построить матрицу из перехода между состояниями для Полумарковского процесса. Два дополнительных параметра требуются — вероятности p_{21} и p_{23} .

Вычисление мы имеем:

$$p_{21} = 1 - p_{23} = \int_0^{\infty} [1 - Q_{23}(t)] q_{21}(t) dt = 0.1$$

Начальное распределение вероятности определено уравнением 7.20, и все элементы матрицы $\mathbf{P}$ известны.

Теперь вычислите эргодическое распределение вероятности $\mathbf{\Pi}$ для цепи Маркова. Используя уравнения 7.25 мы имеем:

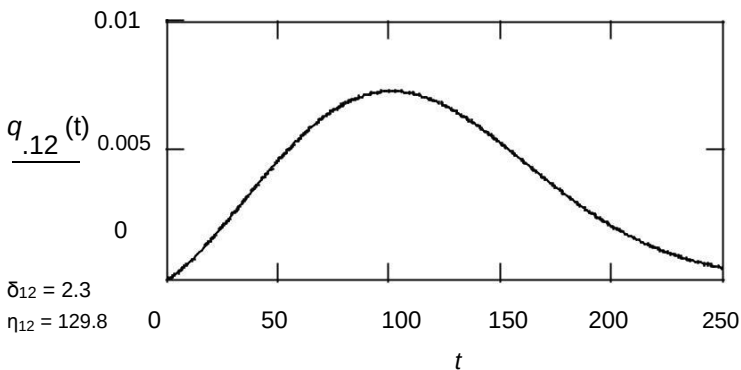


Рисунок 7.18. Плотность распределения вероятности времен ремонта.

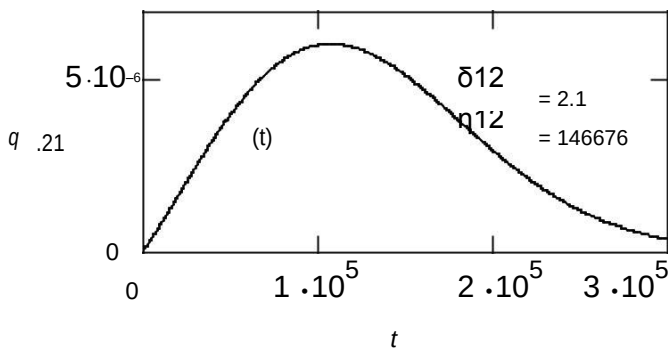


Рисунок 7.19. Плотность распределения вероятности рабочих времени для восстановления.

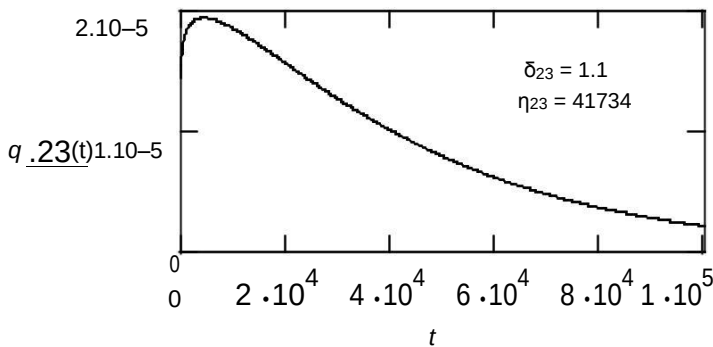


Рисунок 7.20. Плотность распределения вероятности рабочих времен к неудаче.

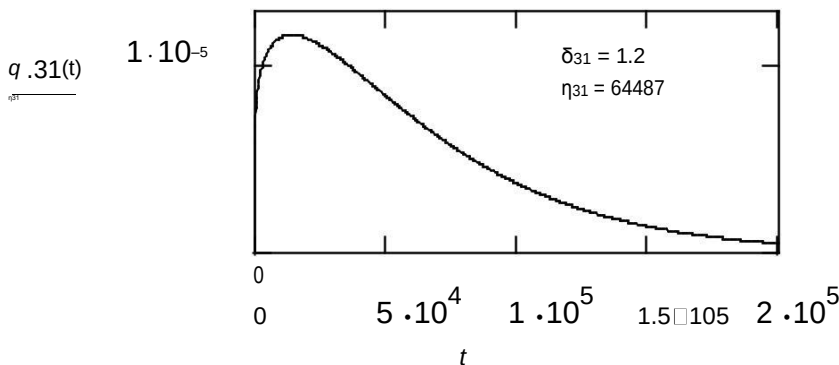


Рисунок 7.21. Плотность распределения вероятности работы во времена неудачи к неудаче.

$$\Pi = (0.345 \ 0.345 \ 0.310)$$

Чтобы определить набор средних времен состояний, средние потребности оценка, которая является m_2 .

Принимая во внимание набор уравнений 7.26 мы наконец имеем:

$$m = (115 \quad 49234 \quad 70660)$$

Эргодическое распределение вероятности для Полумарковского процесса, применяя формулы 7.28 и 7.29, следующие:

$$\rho_1 = 0.001 \quad \rho_2 = 0.474 \quad \rho_3 = 0.525$$

Среднее время к полной неудаче (ремонт), определенный уравнением 7.31, дает:

$$MTTFF = 103\ 802 \text{ минуты}$$

Установившаяся доступность к поддержке:

$$A = \rho_2 + \rho_3 = 0.999$$

Это довольно высоко, однако пренебрегли частичными неудачами.

Функция надежности $R(t)$ определенная уравнением, 7.37 взглядов, подобных тому для показательного распределения и, показывают на рисунке 7.22, тем не менее, интенсивность функции неудач 7.36 интересных взглядов, иллюстрировала на рисунке 7.23.

Интенсивность неудач для эргодического случая, определенного уравнением 7.33:

$$\lambda_{2\rightarrow} = 1,744 \times 10^{-5}$$

Чтобы получить больше опыта в моделирующих моих системах посредством Полумарковских процессов позволяют нам кратко рассмотреть проблему операции системы, включающей совок власти, работающий машиной погрузки, дробилка¹³ и определенным числом конвейеров пояса.

Как первый шаг, может быть сделано сокращение элементов, связанных в ряду, включая все конвейеры пояса до дробилки, при условии, что их процессы изменений состояний имеют тип Маркова. Предполагая такой случай, оригинальная система преобразована в с тремя элементами: погрузчик — дробилка — обычная единица (обычный конвейер).

Граф эксплуатации этой системы показывают на рисунке 7.24. Рис. 7.24a иллюстрирует, что возможные проходы между состояниями и 7.24b иллюстрируют принцип переходов между состояниями системного процесса.

Не уходя из общего подхода, можно предположить что:

$$\begin{matrix} Q_{12}(t) = W(1, \eta_{12}) & Q_{13}(t) = W(\delta_{13}, \eta_{13}) & Q_{14}(t) = W(1, \eta_{14}) \\ Q_{21}(t) = W(\delta_{21}, \eta_{21}) & Q_{31}(t) = W(\delta_{31}, \eta_{31}) & Q_{41}(t) = W(1, \eta_{41}) \end{matrix}$$

Легко видеть, что три раза показательные распределения предполагались (параметры формы равняются 1) после информации, полученной из полевых исследований.

Очевидно:

$$P_{12} + P_{13} + P_{14} = 1$$

Начальное распределение вероятности может быть определено как:

$$\begin{aligned} \alpha &= (\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3 \ \alpha_4) = (1 \ 0 \ 0 \ 0) \\ \alpha_0 &= (\alpha_2 \ \alpha_3 \ \alpha_4) \quad \alpha_1 = (\alpha_1) \end{aligned}$$

Мы можем вычислить средние времена состояний, используя формулу 7.26; однако, среднее время для 1 состояния должно быть нагружено всеми вероятностями p .

¹³ Вы можете найти больше на надежности дробилок для угольных предприятий по переработке в Мишра и Патак (2002); однако, примененные меры по надежности характерны для пунктов, работающих к первому возникновению неудачи. Кроме того, только показательные функции используются. Нет никакой информации о временах ремонта. Это значительно ограничивает ценность представленной информации.

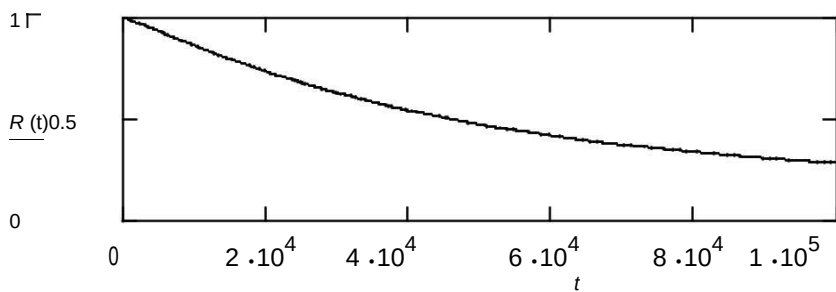


Рисунок 7.22. Функция надежности $R(t)$.

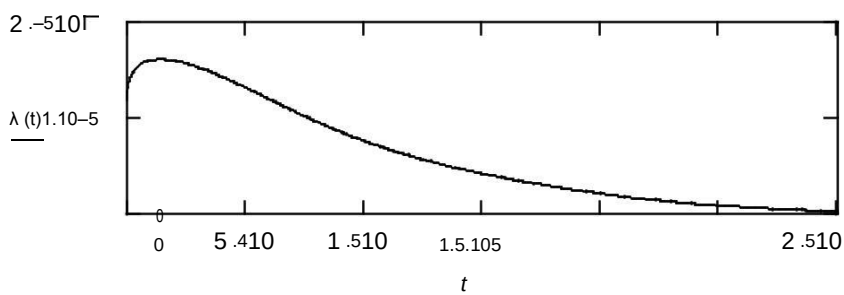
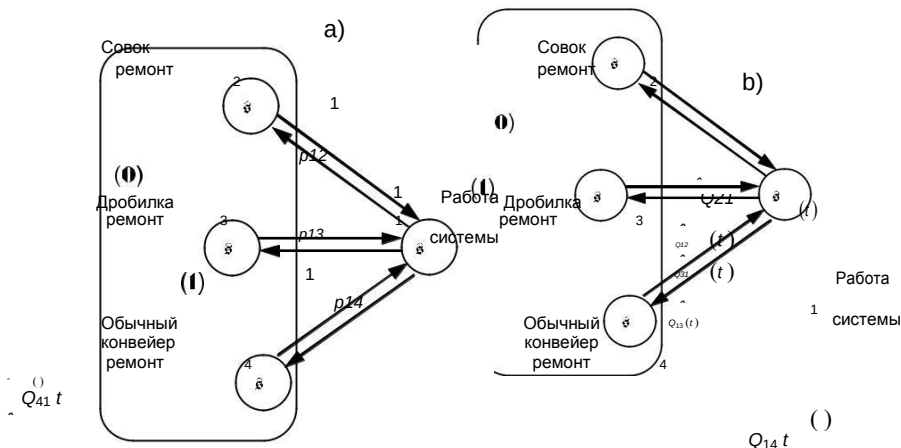


Рисунок 7.23. Функция опасности $\lambda(t)$.



5.510з.510

Рисунок 7.24. Граф эксплуатации системы: погрузчик (совок власти) — дробилка — обычный конвейер: а) возможные проходы между состояниями, б) принцип переходов между состояниями.

Рассмотрение рисунка 7.23, легко видеть, что у системы, которую рассматривают, есть серийная структура — она не работает, если какой-либо из ее элементов находится в состоянии ремонта.

Если так, вложенная цепь Маркова для Полумарковского процесса:

$$\Phi = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

И Полумарковское ядро следующие:

$$\mathbf{Q}(t) = \begin{pmatrix} 0 & \hat{Q}_{12}(t) & \hat{Q}_{13}(t) & \hat{Q}_{14}(t) \\ \hat{Q}_{21}(t) & 0 & 0 & 0 \\ \hat{Q}_{31}(t) & 0 & 0 & 0 \\ \hat{Q}_{41}(t) & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Его строительство указывает недвусмысленно, что система интереса имеет серийный тип, потому что только первая колонка и первый ряд отличные от нуля.

На основе полного принципа вероятности держатся следующие уравнения:

$$p_{12} = \int_0^{\infty} (1 - Q_{31}(t))(1 - Q_{14}(t)) d\hat{Q}_{12}(t)$$

$$p_{13} = \int_0^{\infty} (1 - Q_{14}(t))(1 - Q_{12}(t)) d\hat{Q}_{13}(t)$$

Последняя вероятность, которая будет определена, является p_{14} и может быть улажена, строя подобное уравнение к тому выше или при помощи принципа, чтобы закрыть все эти вероятности к единству.

Эргодическое распределение вероятности Π для цепи Маркова интереса может быть получено, решив уравнение 7.23, который уступает:

$$\Pi_1 = 1/2 \quad \Pi_2 = p_{12} \Pi_1 \quad \Pi_3 = p_{13} \Pi_1 \quad \Pi_4 = p_{14} \Pi_1$$

Эргодическое распределение вероятности для Полумарковского процесса состоит из следующих элементов:

$$\rho_1 = \frac{\Pi_1 m_1}{M} \quad \rho_2 = \frac{\Pi_2 m_2}{M} \quad \rho_3 = \frac{\Pi_3 m_3}{M} \quad \rho_4 = \frac{\Pi_4 m_4}{M}$$

где:

$$M = \Pi_1 m_1 + \Pi_2 m_2 + \Pi_3 m_3 + \Pi_4 m_4$$

Установившаяся доступность системы:

$$A = \rho_1$$

Интенсивность неудач процесса:

$$\lambda = \frac{1}{p_{12}(m_{12} + m_{21}) + p_{13}(m_{13} + m_{31}) + p_{14}(m_{14} + m_{41})}$$

Дальнейший метод моделирования и анализа, который мог быть принят, должен будет использовать аналогичный подход к тому показанному для анализа приведенной в действие поддержки. Читатели могут предпринять этот

анализ согласно своим требованиям. Однако необходимо не забыть включать в анализ этой системы доступность совка власти и дробилки, оба сокращения доступного времени, чтобы выполнить обязанности системы.

В конце соображений, связанных с Полумарковскими моделями, два дополнительных замечания должны быть сделаны относительно объема их применения и возможности анализа этих систем другим способом.

В следующей главе циклические системы будут проанализированы, начинающийся с самого простого случая — модели Пальмы — до самого продвинутого — модель $G/G/k/r$. После того, чтобы знакомиться с этими моделями будет легко прийти к заключению, что Полумарковские модели могут также быть применены для моделирования и анализа циклических систем.

Второе замечание - то, что есть также различные возможности для анализа Полумарковских процессы.

Limnios (Боуфиша и Лимниос 1997, Лимниос и Оприан \$2001) предложил применить распределения ph для оценки надежности Полумарковских систем. Идея этого метода возвращается к Коксу (1955). Возможно приблизить Полумарковское ядро типом фазы Полумарковского ядра и затем преобразовать это в ядро Маркова, вводя дополнительные состояния.

Начальная стадия состоит из приближения функций перехода $Q_{ij}(t)$ оригинального Полумарковского ядра распределениями фазы, скажем, $B_{ij}(t)$. Чтобы сделать это надлежащим способом, проблема оптимизации сформулирована, указав, например, что:

$$\text{минимизируйте } \int_{\mathbb{R}_+} (Q_{ij}(t) - B_{ij}(t))^2 dt$$

при ограничениях:

$$\int_{\mathbb{R}_+} t^k dQ_{ij}(t) = \int_{\mathbb{R}_+} t^k dB_{ij}(t) \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, r$$

Заметьте, эти функции - статистические моменты, производя функции относительно поставляемой функции. Идея здесь идентична используемому в переходе от дискретной модели типа до непрерывного пространства и — после того, как решение будет найдено в этом космосе — в возвращении к дискретному пространству в модели Сивэзлизна и Вана. Основной момент не должен утрачивать статистические имущества функций, когда преобразование или приближение применяются.

Для семейства распределения Кокс, чье преобразование Лаплас-Стилтджес имеет форму:

$$\sum_{s=1}^n a_1 \dots a_k \prod_{i=1}^s \frac{\mu_i}{s + \mu_i}$$

мы должны вычислить набор параметров $a_1, \dots, a_n$; $\mu_1, \dots, \mu_n$ и n .

Как правило, это приближение приводит к большому количеству параметров. Вычисление время, потребляя и утомительный. К счастью, Олдос и Шепп (1987) дали нижний предел для количества фаз, требуемых представлять распределение вероятности Q со средним μ и различием σ^2 на+. Эта граница - инверсия квадрата коэффициента изменения Q , который является $(\mu/\sigma)^2$.

Есть также один дальнейший подход к анализу Полумарковских процессов, предложенных, Поют (1980) и назвал эквивалентный метод ставок. К сожалению, это не точный метод.

Это состоит в преобразовании обрабатывают в процесс Маркова, беря в качестве времени пребывания в состоянии i показательное распределенное время с параметром $(m_i)^{-1}$, где m_i - среднее время пребывания Полумарковского процесса в состоянии i . Преимущество этого метода состоит в том, что он дает то же распределение предела для двух процессов, но ошибка для вероятностей перехода в конечный промежуток времени не контролируется. Тем не менее, мы можем применить общий метод, данный в Главе 4.6 Лимниос и Оприан (2001) к связанному ошибка этого метода.

Кажется, что метод анализа Полумарковских процессов, представленных здесь, довольно практичен и свободен от искусственного строительства дополнительных состояний.

ГЛАВА 8

Циклические системы - выбранные проблемы

Как был указан в Главе 2.2, циклические системы, примененные в горной промышленности, могут быть разделены на четыре типа. Критерий этого подразделения - манера операции этих систем, которая определяет в некоторой степени, какие математические методы могут использоваться, чтобы описать их процессы эксплуатации.

В этой главе некоторые проблемы рассмотрят мои циклические системы, которые могут быть описаны теорией очереди. Единственное исключение к этому правилу - система грузовика совка. Его анализ, моделирование и метод аналитического метода расчета вместе с обширным литературным обзором были сделаны в монографии Чаплицкий 2009. Однако две комбинации системы грузовика совка с другими элементами оборудования будут обсуждены в Главе 9.

Мы начинаем наши соображения, анализируя общую модель, обсужденную в теории очереди или — применении номенклатуры, используемой в Центральной и Восточной Европе — в теории обслуживания массы.

8.1 ОБЩАЯ МОДЕЛЬ ТЕОРИИ ОЧЕРЕДИ

Эта модель представлена на рисунке 8.1. Давайте проанализируем его компоненты.

Поток прибытия (клиенты, требования) направлен к сервисной системе. Требование 'несет' потребность в обслуживании. В общем случае поток (A) можно рассматривать как вероятностный процесс со следующими свойствами:

- прибытие прибывает в систему отдельно или в группах
- размер группы или детерминирован, или это - случайная переменная
- момент возникновения требования детерминирован или случаен
- клиенты входят в приемную, или они отбывают (из-за отсутствия свободного пространства в приемной или потому что есть длинная очередь в приемной, например),
- население, из которого прибывает прибытие, или конечно или не конечно.
- Обычно, предполагается, что для конечного населения, прибытие после службы возвращается населению и становятся потенциальными призывами к новому обслуживанию. Системы с конечным источником (население) называют *закрытыми системами*. Если, например, у системы оборудования шахты есть постоянное количество операционных единиц, эта система - закрытая до момента, когда новые элементы оборудования куплены для системы или когда машина заканчивает свою *жизнь*.

Помните:

Если одна или несколько машин будут введены дополнительно данной системе, или одна или несколько машин забраны из системы, или один или несколько элементов оборудования заменены — то параметры и особенности этой системы изменятся.

Обычно (А), процесс прибытия - стохастический; в особом случае это может характеризовать случайная переменная или можно рассматривать как

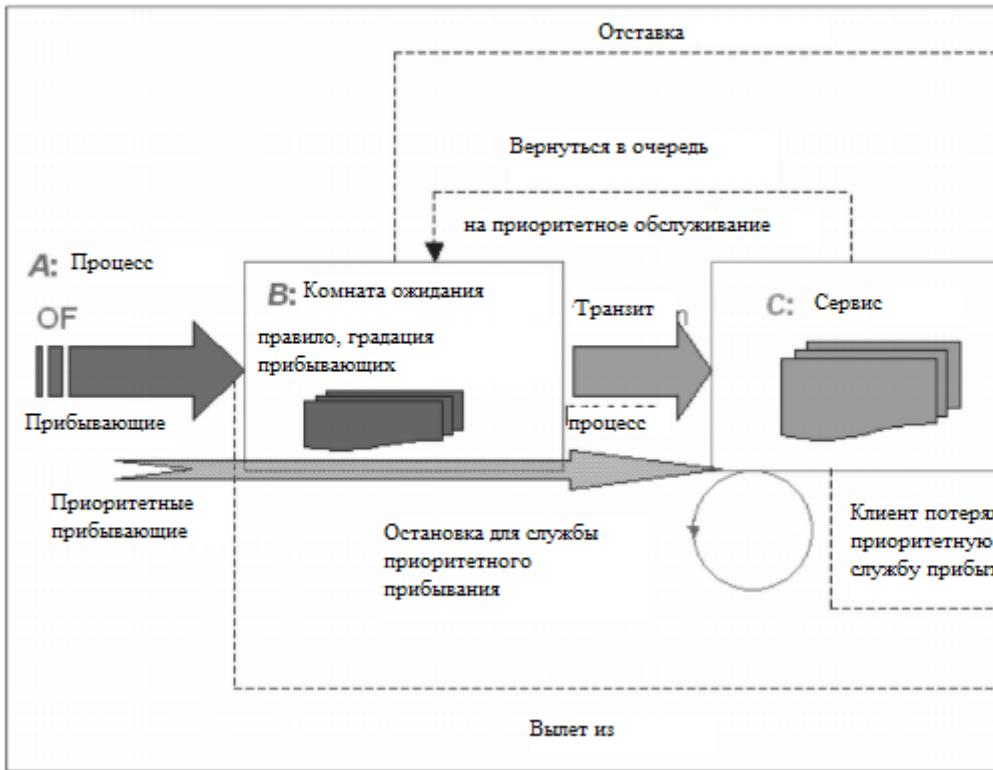


Рисунок 8.1. Идея системы обслуживания массы.

- Если требование (или клиент) хочет ждать обслуживания (но это может обычно уходить в отставку в любой момент вовремя), то это становится предметом правил, управляющих очередью (инструкции, определяющие, как требования будут обслуживаться). Самые популярные правила в этом отношении:
 - *FIFO* — метод «первым пришел - первым вышел», прибытие обслуживается в последовательности, в которой они происходят в системе
 - *SIRO* — выбор в случайном заказе, прибытие обслуживается в случайной последовательности

• *LIFO* — метод «последним пришел - первым вышел», прибытие, которое произошло в последний раз в системе, обслуживается сначала.

Первая схема лучше всего понята интуитивно. Вторая схема, например, держится, когда запасные части доступны. Коллекция запасных частей обычно случайна. Третья схема держится в ситуации, включающей хранение запасных пунктов. Когда есть ограниченный доступ к магазину, пункт, который был сохранен в последний раз, обычно является тем, который удален сначала.

В некоторых системах очереди клиенты классифицированы — некоторые клиенты расценены как являющийся более важным, чем другие. Это означает, что такая система обладает иерархической организацией обслуживания. Таким образом у некоторых клиентов есть приоритет. Обычно, клиент, ждущий самое долгое время от класса с самым высоким приоритетом, обслуживается сначала. Классификация прибытия имеет влияние на организацию обслуживания (C). У этой классификации есть последствия, и поэтому приоритетные схемы введены.

Есть две основных приоритетных схемы.

- Абсолют (изгнание) приоритет, когда обслуживание в процессе остановлено, чтобы обслужить приоритетное прибытие; вот три случая, чтобы рассмотреть.

- Абсолютный приоритет с потерями; обслуживание для перемещенного клиента (или требование) потеряно в результате прекращения для приоритетного требования.

- Абсолютный приоритет с более поздним продолжением; после приоритетного обслуживания, после того, как стоит прекращение, которое перемещенный клиент (или требование) возвращает к его службе, и остановленное обслуживание продолжено.

- Абсолютный приоритет со стартом с начала; после прекращения его обслуживания перемещенный клиент (или требование) ждет обслуживания приоритетного требования, которое будет закончено, и затем это возвращается к стенду, но обслуживание должно быть сделано с начала.

- Относительный приоритет, когда бегущее обслуживание не остановлено, но приоритетное прибытие, первый, чтобы быть обслуженным, таким образом проходя, минуя очередь, в приемной.

Есть также некоторые другие типы приоритетных схем. Например, если ремонт продвинут и будет скоро закончен, то обслуживание часто не останавливается для приоритета. Приоритетное прибытие ждет.

В некоторых системах шахты может быть обратная ситуация. У некоторых *сервисных центров* есть приоритет, и клиенты направлены системой посылки к этим пунктам. Например, во время процесса эксплуатации системы грузовика совка, совки, загружающие приоритетный материал, должны работать круглосуточный и поэтому иметь приоритет.

Уникальная система очереди - та, у которой нет приемной. Эту систему называют, *не ожидая* или *с потерями*. Потеряно прибытие в систему, когда все сервисные стенды заняты. Иначе система *ждет*. Другой особый случай

здесь - система *без потерь*, где нет никакого способа оставить систему, не получая обслуживание.

Теперь рассмотрим обслуживание (С). Его свойства могут быть характеризованы следующим образом.

- Сервисная подсистема может быть оборудована, каждый стоит или может иметь много стандов.

- Организация стандов может быть:

- ◊ параллель, которая является всеми, стоит, выполняют тот же вид обслуживания

- ◊ непараллель, которая является некоторыми стандами, может выполнить определенный тип обслуживания.

- Если у сервисной подсистемы есть много параллелей, стоит тогда:

- ◊ очередь может быть сформирована перед каждым, стоят, и клиенты могут выбрать очередь, или они обслуживаются согласно приоритетной схеме

- ◊ одна общая очередь может быть сформирована и выносит клиентов требования (в заказе), когда они свободны.

- Если у обслуживания есть много непараллелей, стоит, то некоторые из этих стандов могут создать организованную подсистему, где последующие фазы обслуживания могут быть выполнены.

- Клиенты могут быть обслужены неотдельно, но в группах и размере групп может быть:

- ◊ детерминированный

- ◊ ограниченный

- ◊ случайный.

- Сервисная подсистема и, поэтому, целая система может быть доступной:

- ◊ непрерывно

- ◊ периодически

- ◊ с непредсказанными разрывами (из-за расстройств).

- В некоторых системах, клиент, обслуживаемый блоки целый стенд; в некоторых эффективных системах очередь может быть сформирована перед каждым, стоят.

Обычно обслуживание (С) является процессом, который является частично стохастическим, время обслуживания - случайная переменная, но иногда это можно рассматривать как детерминированное.

В этой общей модели есть три поступающих случайных переменные:

- время между двумя соседним прибытием (или единственные требования или групп)

- количество прибытия в данный момент $\equiv$ размер группы

- время обслуживания единственного клиента.

В этой модели есть также три параметра:

- номер службы стоит, s_1

- количество мест в приемной $\equiv$ максимальная длина (длины) очереди₂
- численность населения.

Предположения о модели должны обозначить:

- спецификация случайных переменных распределений
- взаимная зависимость этих случайных переменных
- правление очереди, градация прибытия и последствий, следующих из этой классификации.

8.2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В теории очереди, чтобы определить, какая система каждый имеет дело со следующим примечанием, часто использует:

$$A/B/s_1/s_2$$

где:

A – распределение вероятности времен между соседним прибытием в систему обслуживания массы

B – распределение вероятности времен обслуживания.

Однако вместо букв A и B следующее примечание используется в этой книге:

D – детерминированное распределение (идентичные временные интервалы)

M – показательное распределение (M после Маркова)

G – общее распределение

GI – общее распределение времен между прибытием и общее распределение времен ремонта, независимого друг от друга

E_k – Распределение Эрланг приказа k

K_n – Распределение χ^2 с n степенями свободы.

Есть также некоторое другое примечание, которое может быть применено, но это редко используется, и не необходимо процитировать детали здесь.

Общая цель теории очереди состоит в том, чтобы построить методы для анализа систем обслуживания массы, чтобы управлять ими рациональным способом.

Можно посмотреть на систему очереди:

- с точки зрения клиента
- с точки зрения управления.

Клиент интересуется следующими проблемами:

- выбор момента прибытия в систему (чтобы избежать часа пик, выбрать удобное время для профилактического действия, и т.д.)

- выбор системы (возможно, например, более дорогое обслуживание, но одно предлагающее лучшее качество)
- выбор предпочтений (предпочтение означает привилегию; приоритет в обслуживании).

Системное управление интересуется:

- достижение более эффективного обслуживания, что означает разрабатывать более прибыльную систему
- достижение более привлекательного обслуживания, ², возможно, через привлекательные соглашения или создание немного более дешевого обслуживания.

Обычно, самая важная системная особенность - ограниченное распределение системных состояний, которое характеризует систему после длительного периода операции. Систему называют *стабильной*, если это распределение не зависит от начального состояния системы. Знакомство с этим распределением позволяет многим жизненным проблемам с практической точки зрения быть решенными.

¹Эта классификация более широка, чем классическая, представленная Кендаллом из-за элемента s_2 . Однако это пренебрегает правилом ожидания, которое рассматривают в примечании Ли. Системы обслуживания массы, которые рассматривают здесь, будут иметь тип *FIFO*.

²Красивые длинноногие девочки, работающие в сервисной системе, могли быть *элементом*, который делает систему более привлекательной³.

8.3 ПРОБЛЕМА РЕМОНТНИКА³

Рассмотрите систему, которая состоит, с функциональной точки зрения, m + r гомогенные машины, где m машины предписаны работать, и r машины проводятся в запасе. Запасные единицы не терпят неудачу, что означает, что они создают холодный запас. Машины работают параллельно (то есть, друг независимо от друга), и каждая единица может потерпеть неудачу. Неудавшаяся машина предписана восстановить, и новая единица взята от запаса при условии, что это не пусто. Количество ремонта стоит (средства) k . После возобновления машина направлена к запасу или усажена за работу непосредственно, когда запас пуст и меньше, чем m машины имеют работу. Ремонт полностью восстанавливает способность машины работать. Ремонт и рабочие времена независим друг от друга, и у них есть свои собственные распределения вероятности (G , G). Операционную схему системы ремонтника показывают на рисунке 8.2. Дальнейшая спецификация действия системы должна детализировать организацию операции ремонтников относительно любых неудач, которые происходят.

В добывающей практике много исследований надежности доказали, что времена работы и ремонта для множества элементов оборудования независимы друг от друга. Если это предположение независимости не было

встречено — и это редко происходило — они были особыми случаями и, поэтому, они не будут обсуждены здесь.

Будет также предполагаться, что правило вестибюля - метод «первым пришел - первым вышел» (FIFO) один. Снова, расследования шахты показали, что это держится в большинстве случаев. Иногда, ситуации были отмечены, где ремонтные работы были ассигнованы на принципе, что короткий ремонт убран сначала. Но такие случаи были редки.

В классической проблеме ремонтника основной вопрос - определение математического выражения, которое описывает системную продукцию, понятую здесь как количество машин в состоянии работы. Дальнейшие системные особенности, такие как средняя системная производительность, индексы рабочих времен машин или безделья ремонтников могут быть найдены определив ограниченное распределение вероятности количества машин в состоянии работы.

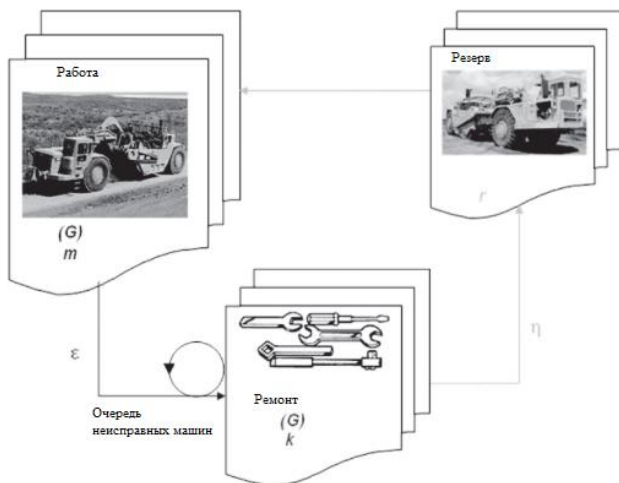


Рисунок 8.2. Операционная схема системы ремонтника.

³Проблема ремонтника много лет была известна, вероятно, начинающийся с Пальмы (1947) и позже в Лесорубе (1957), Кокс и Смит (1961) и Такас (1962).

Кроме того, экономические аспекты операции этой системы можно также рассмотреть, зная это распределение.

Поскольку есть много частей мое оборудование, для которого и работают и восстанавливают, времена могут быть удовлетворительно описаны показательными распределениями, мы теперь обсудим Пальмовую модель.

8.4 ПАЛЬМОВАЯ МОДЕЛЬ

Предположите теперь, когда распределение вероятности времен ремонта показательно, и распределение вероятности рабочих времен также показательно. Обозначьте как ранее:

$$E(T_w) = \lambda^{-1} \quad E(T_r) = \mu^{-1} \quad \text{and} \quad \kappa = \lambda/\mu$$

Система, которой мы интересуемся: $M/M/k/r$

Если так, процесс $n(t)$ определенный как количество машин в ремонте в данный момент вовремя t является смертью рождения process4 интенсивности перехода:

$$\mu_i = \begin{cases} i_\mu & \text{для } i = 0, 1, \dots, k \\ k_\mu & \text{для } i = k, k+1, \dots, m+r \end{cases} \quad (8.1a)$$

$$\lambda_i = \begin{cases} m\lambda & \text{для } i = 0, 1, \dots, r \\ (m+r-i)\lambda & \text{для } i = r, r+1, \dots, m+r \end{cases} \quad (8.1b)$$

Ограниченное распределение вероятности количества машин в ремонте как функция количества машин в запасе:

для $r = 0$

$$P_i^{(r)} = \begin{cases} \frac{m!}{i!(m-i)!} \kappa^i P_0^{(r)} & \text{для } i = 1, 2, \dots, k \\ \frac{m!}{k!k^{i-k}(m-i)!} \kappa^i P_0^{(r)} & \text{для } i = k, k+1, \dots, m \end{cases} \quad (8.2)$$

для $r = 1, 2, \dots, k$

$$P_i^{(r)} = \begin{cases} \frac{m^i}{i!} \kappa^i P_0^{(r)} & \text{для } i = 1, 2, \dots, r \\ \frac{m^r m!}{i!(m+r-i)!} \kappa^i P_0^{(r)} & \text{для } i = r+1, r+2, \dots, k \\ \frac{m^r m!}{k!k^{i-k}(m+r-i)!} \kappa^i P_0^{(r)} & \text{для } i = k+1, k+2, \dots, m+r \end{cases} \quad (8.3)$$

- Процесс Маркова, определенный на конечном или исчисляемом наборе состояний, характеризующих интенсивностью переходов, называют процессом смерти рождения, если состояния этого процесса могут быть заказаны таким способом, которым только интенсивность перехода между соседними состояниями может быть отличной от нуля.

$$P_i^{(r)} = \begin{cases} \frac{m^i}{i!} \kappa^i P_0^{(r)} & \text{для } i = 1, 2, \dots, k \\ \frac{m^i}{k! k^{i-k}} \kappa^i P_0^{(r)} & \text{для } i = k+1, k+2, \dots, r \\ \frac{m^r m!}{k! k^{i-k} (m+r-i)!} \kappa^i P_0^{(r)} & \text{для } i = k+1, k+2, \dots, m+r \end{cases} \quad (8.4)$$

где для каждого r сумма всех вероятностей закрыта для единства.

Можно легко признать, что, если запасной размер - ноль и количество машин в системе, идентично количеству ремонта, стоит, то вышеупомянутое распределение вероятности ограничено биномиальным распределением:

$$P_i^{(r)} = \binom{m}{i} (1-A)^i A^{m-i} \quad \text{для } i = 1, 2, \dots, m$$

И:

$$\frac{\mu}{\lambda} = \mu$$

который является установившимся наличием машин.

Практически распределение вероятности количества машин в состоянии работы более интересно. Обычно мы интересуемся его ограниченной формой, потому что только в готовности системы - интересное место это распределение вероятности, зависящее от данного момента времени t .

Поэтому определяя новую случайную переменную:

$$m(t) = \min(m, m+r-n(t))$$

мы можем получить ограниченное распределение вероятности количества машин в состоянии работы:

$$P_i^{(w)} = \begin{cases} \sum_{j=0}^r P_j^{(r)} & \text{для } i = m \\ P_{m+r-i}^{(r)} & \text{для } i = 0, 1, \dots, m-1. \end{cases} \quad (8.5)$$

На основе вышеупомянутого два важных параметра для технической практики могут быть определены, а именно: среднее количество машин в

$$L^{(r)} = \sum_{i=1}^{m+r} iP_i^{(r)} \quad (8.6)$$

неудаче:

- среднее количество машин в состоянии работы:

$$L^{(w)} = m \sum_{j=0}^r P_j^{(r)} + \sum_{i=1}^{m-1} iP_{m+r-i}^{(r)} \quad (8.7)$$

Имея в виду систему машин, мы можем заявить, что в среднем будет определенное среднее количество машин в состоянии работы, определенное среднее количество машин в неудаче и определенное среднее количество единиц в запасе. В добывающей действительности в любой данный момент вовремя эти три числа стохастические, потому что они - случайные переменные.

Рассмотрите учебный случай.

Пример 8.1

Там даны две системы:

$$\mathfrak{S}_1 : \langle m = 24, k = 4, r = 4; = 0.82; \mathfrak{M}_{gr} \rangle$$

$$_2 : \langle m = 24, k = 4, r = 4; = 0.82; \text{ind} \rangle$$

Первая система состоит из 24 машин, предписанных работать и 4 машины в запасе. Установившееся наличие машин 0.82. Есть 4 ремонтника, и метод $\mathfrak{M}_{gr}$ их организации - группа один.

Вторая система идентична первой за исключением метода организации работы ремонтников; они работают друг независимо от друга. Каждый ремонтник заботится о шести предопределенных машинах. Это означает, что вторая система может быть разделена на четыре идентичных подсистемы:

$$\mathfrak{S}_2 = 4 \times \langle m = 6, k = 1, r = 1; = 0.82 \rangle$$

Сравните особенности обеих систем.

Давайте начнем, смотря на оба ограниченных распределения вероятности. Они представлены в Таблице 8.1.

Рассмотрите теперь существенные системные параметры.

Среднее количество неудавшихся машин:

$$\mathfrak{E}_1 : L^{(r)} = 10.07 \quad \mathfrak{E}_2 : L^{(r)} = 4 \times 2.83 = 11.32$$

Таблица 8.1. Ограниченные распределения вероятности
количество неудавшихся машин.

P_n	1	2
0	0.001	0.107
1	0.006	0.141
2	0.016	0.186
3	0.028	0.204
4	0.036	0.179
5	0.048	0.118
6	0.06	0.052
7	0.073	0.011
8	0.084	
9	0.092	
10	0.096	
11	0.095	
12	0.089	
13	0.078	
14	0.064	
15	0.049	
16	0.035	
17	0.023	
18	0.014	
19	0.008	
20	0.004	
21	0.002	

Среднее количество машин в состоянии работы:

$$\mathfrak{E}_1 : L^{(w)} = 17.85 \quad \mathfrak{E}_2 : L^{(w)} = 4 \times 4.07 = 16.28$$

Среднее количество неудавшихся машин, ждущих ремонта:

$$\begin{aligned} \mathfrak{E}_1 : L^{(o)} &= L^{(r)} - 4 = 6.07 \\ \mathfrak{E}_2 : L^{(o)} &= L^{(r)} - 4 = 7.32 \end{aligned}$$

Среднее количество запасных машин:

$$\begin{aligned} \mathfrak{E}_1 : L^{(sp)} &= m + r - L(r) - L^{(w)} = 0.08 \\ \mathfrak{E}_2 : L^{(sp)} &= m + r - L(r) - L^{(w)} = 0.4 \end{aligned}$$

Полученные результаты указывают, что организация группы более выгодна, чем отдельная организация, которая является очевидным результатом. В организации группы там не может возникнуть ситуация, где ремонтник неработающий, и машина в неудаче ждет ремонта.

Стоит посмотреть более тесно на интересные различия в некоторых системных параметрах эксплуатации. Кроме того, некоторые относительные параметры эксплуатации можно рассмотреть, которые характеризуют и системное оборудование и использование ремонтников, которое является:

Среднее количество машин в состоянии работы

Количество машин предписало работать

Среднее число занятых ремонтников

Число ремонтников

Далее интересные параметры - функции, которые определяют, как индексы базовой системы изменяются для различных размеров запаса. Используя большее количество всестороннего рассуждения, интересная проблема могла бы состоять в том, чтобы рассмотреть, для которого запасной размер делает дальнейшее увеличение количества запасных машин, не имеют никакого значения для системных параметров эксплуатации. Если эта проблема очень важна, это нужно также рассмотреть на экономической основе.

Кстати, если установившееся наличие машин 0.78 или ниже, среднее количество машин в запасе - ноль.

Эту проблему также рассмотрела Пальма (1947), Лесоруб (1957), Гньеденко и Коваленко (1966).

8.5 СИСТЕМА БЕЗ ПОТЕРЬ

Эта модель - особый случай модели Palm. Давайте обсудим его свойства, считая пример взятым от добывающей практики.

Пример 8.2

Определенный тип неудачи в шахте был исследован. Среднее количество этого типа неудачи, как находили, было 1,04 неудачами за одну рабочую смену (8 часов). Дальнейшее исследование показало, что времена между случаями двух соседних неудач могут быть удовлетворительно описаны показательным распределением. Точно так же времена ремонта могут также быть описаны этим типом распределения со средним равенством 2,7 часам. Все неудачи убраны. Вопрос состоит в том, сколько ремонтников должно быть доступным во время одного производственного изменения?

На первый взгляд проблема похожа на тривиальный — неудача появляется каждый $8/1.04 = 7,7$ часов в среднем и среднее время ремонта составляют 2,7 часа. Один ремонтник должен быть достаточно.

Однако посмотрите на эту проблему с точки зрения теории очереди.

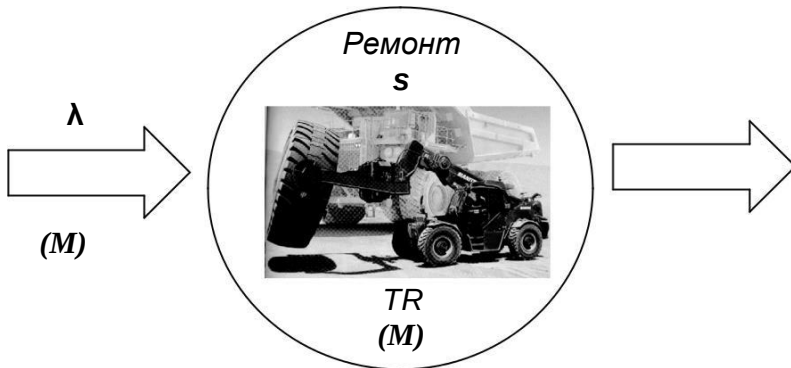


Рисунок 8.3. Операционная схема системы без потерь.

Поскольку нет никакой утраты 'клиента', система может быть отмечена как:

$$M/M/s / \infty$$

и рисунок 8.3 иллюстрирует основную идею о системе.

Для такой системы ограниченное распределение вероятности количества неудач определено формулой:

$$P_i = \begin{cases} (\kappa^i / i!) P_0 & \text{для } i = 1, 2, \dots, s \\ (\kappa^i / s! s^{i-s}) P_0 & \text{для } i = s, s+1, \dots \end{cases} \quad (8.8)$$

где κ - очевидно, частота ремонтов. Поскольку у этой формулы есть текущий характер, должно быть добавлено уравнение, что сумма всех вероятностей должна быть 1.

Для системы, которую рассматривают $\kappa = 2.7/7.7 = 0.35$ и ограниченное распределение вероятности количества неудач относительно числа ремонтников, дан в Таблице 8.2. Числа в последнем ряду - математические ожидания.

Смотрение на результаты вычислений представило в этом столе, легко заметить, что распределение быстро склоняется к своей ограниченной форме и нет никакого различия, работают ли три из четырех ремонтников. Различие между $s = 1$ и $s = 2$ хорошо признано. Мы можем сомневаться в заявлении, значительное ли различие между $s = 2$ и $s = 3$.

Должен быть несомненно, что соображение должно быть передано на экономические аспекты проблемы. Давайте сделаем простой расчет стоимости.

Давайте предположим, что себестоимость единицы продукции ремонтника - c_r €/h, и потеря единицы, подлежащая выплате восстановить, является c_l €/h. Определяя среднее значение себестоимости единицы продукции мы имеем:

$$C_s = sc_r + c_l \sum_i i P_{i+s}$$

Поэтому мы ищем такую ценность s , чтобы добраться, минимум стоил C_s . Предположите теперь, например, что $c_r = 40$ и $c_l = 500$. Раз так:

$$C = 133.6_{s=1}$$

$$C = 85.35_{s=2} \quad C = 120.4_{s=3}$$

Для дальнейшего увеличения числа ремонтников общая стоимость C_s постоянно увеличивается.

Простое заключение может быть сформулировано здесь, что намного лучше иметь двух ремонтников, а не только один.

Таблица 8.2. Ограниченные распределения вероятности количество неудач P_i против числа ремонтников s .

P_i	$s = 1$	$s = 2$	$s = 3$	$s = 4$
0	0.65	0.702	0.705	0.705
1	0.223	0.246	0.247	0.247
2	0.080	0.043	0.043	0.043
3	0.028	0.008	0.005	0.005
4	0.010	0.001	0.001	
•	0.003			
•	0.001			
E	0.538	0.361	0.351	0.350

Помните, что это заключение держится для этого набора ценностей системных параметров. Для различного набора заключительное заключение может отличаться. ◀

Давайте определим некоторые интересные системные параметры.

Среднее количество неудач, которые произошли в системе:

$$L^{(r)} = \kappa \left[\frac{\kappa^s (\kappa s - \kappa^2 + s)}{s! (s - \kappa)^2} + \sum_{k=0}^s \frac{\kappa^k}{k!} \right] P_0 \quad (8.9)$$

Среднее количество неудач, ждущих ремонта:

$$L^{(o)} = \frac{\kappa^{s+1}}{(s - \kappa)^2 (s - 1)!} P_0 \quad (8.10)$$

Среднее число свободных ремонтников:

$$L^{(i)} = s - \kappa$$

Ограниченная вероятность, что все ремонтники будут заняты:

$$P_B = \frac{\kappa^s}{(s - 1)!(s - \kappa)} P_0 \quad (8.12)$$

Некоторые дальнейшие системные параметры могут быть построены, но они имеют незначительное значение. Обычно литература от этой области на самом деле довольно богата, и у исследователей есть много позиций, чтобы выбрать из (см., например, Кокса и Смита 1961, Такас 1962, Купер 1972, Ли 1966, Гросс и Харрис 1974, Tijms 2003, Уолф 2007).

8.6 СИСТЕМЫ ЭРЛАНГА

Мы остаемся в области показательных распределений вероятности; однако, теперь уровень обобщения выше. Ключ к созданию наших более общих соображений является собственностью, у которой есть случайная переменная распределения Эрланг.

Распределение Эрланг плотности распределения:

$$f(t) = \begin{cases} \lambda(\lambda t)^{k-1} \exp \frac{-\lambda t}{(k-1)!} & \text{для } t \geq 0 \\ 0 & \text{для } t = 0 \end{cases} \quad (8.13)$$

распределение суммы k независимых случайных переменных, по экспоненте распределенных с тем же параметром λ .

Если распределение вероятности времен между прибытием в систему очереди может быть описано распределением Эрланг, и, точно так же распределение вероятности времен обслуживания может быть удовлетворительно описано распределением Эрланг, то — создание соответствующего обычного разложения — соображения могут быть перемещены к известной и удобной области теории Маркова.

Если, например, распределение вероятности времен между требованиями к сервисной системе имеет приказ s , то мы можем разложить время на s

последующие фазы, каждое показательное распределение. Аналогично, случайная переменная — время обслуживания — может быть разложено на, скажем, v фазы, каждое показательное распределение. Поэтому анализ системы:

$$E/E/k/r_{sv}$$

может быть преобразован в анализ процессов Маркова.

Анализ системы Эрлангian может быть сделан, используя следующую схему:

- Оригинальное системное разложение, чтобы определить фазы, по экспоненте распределенные
- Идентификация интенсивности переходов между фазами
- Идентификация репертуара эксплуатации
- Создание матрицы интенсивности проходов между фазами
- Строительство уравнений, определяющих ограниченные вероятности фаз
- Вычисление вероятностей, смешивая соответствующие фазы и заключительное вычисление параметров состояний.

Легко признать, что некоторые шаги подобны или идентичны тем в методологии для анализа непрерывных систем.

Давайте обсудим пример.

Пример 8.3

Есть два самосвала в определенном карьере, поставляющем, выкопал скалу к дробилке. Из-за высокого спроса на сокрушенный материал, и не так высокая надёжность грузовиков, один дополнительный грузовик был куплен, чтобы действовать в качестве запасной единицы, и решение было принято, чтобы работать 18 h/d.

Чтобы обслужить грузовики в надлежащем условии два восстанавливают, стенды были устроены. Рисунок 8.4 иллюстрирует эту систему.

Расследование надежности показало, что рабочие времена грузовиков имеют распределение Эрланг приказа 2 со средним из 10 часов. Времена ремонта были также описаны распределением Эрланг приказа 2, но со средним значением 3,1 часов. Рисунок 8.5 показывает обе плотности распределения вероятности.

Давайте проанализируем эту систему и давайте попытаемся узнать, является ли решение купить еще один самосвал рациональным.

Давайте начнем с идентификации системы.

Обсужденная система может быть определена следующим образом:

$$\mathcal{E} : <m = 2; k = 2; r = 1; = 0.763>$$

и его примечание:

$E/E/2/1_{22}$

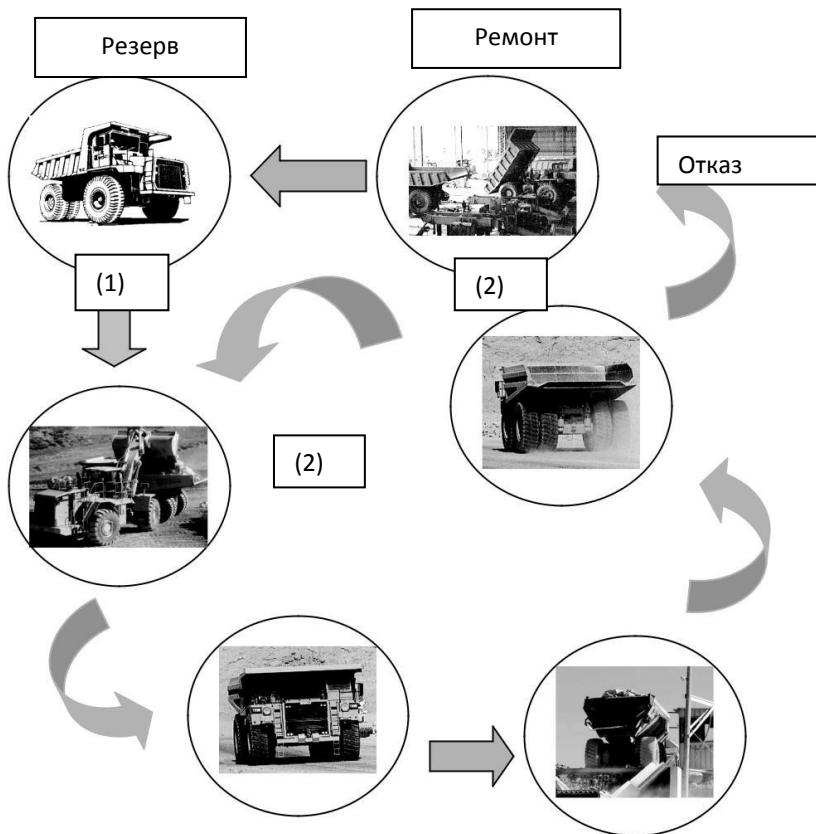


Рисунок 8.4. Система в карьере.

$$k := 2 \quad f(x) := \frac{\lambda^k \cdot x^{k-1}}{(k-1)!} \cdot e^{-\lambda \cdot x} \quad g(x) := \frac{\mu^k \cdot x^{k-1}}{(k-1)!} \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

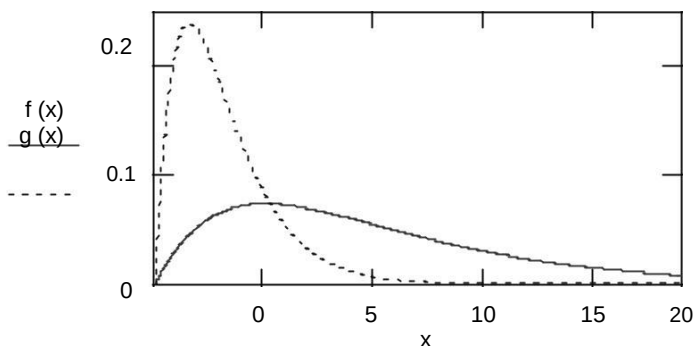


Рисунок 8.5. Плотности распределения вероятности для грузовиков в проанализированной системе.

Чтобы передать наше внимание области теории Маркова, мы предполагаем, что рабочее время - двухфазовое. Позвольте первой фазе быть названной 'с большим потенциалом' и вторым 'с низким потенциалом'. Время ремонта будут рассматривать так же. Первую фазу можно назвать как 'начало ремонта' и второго 'окончание ремонта'. Все четыре случайных переменные очевидно показательны.

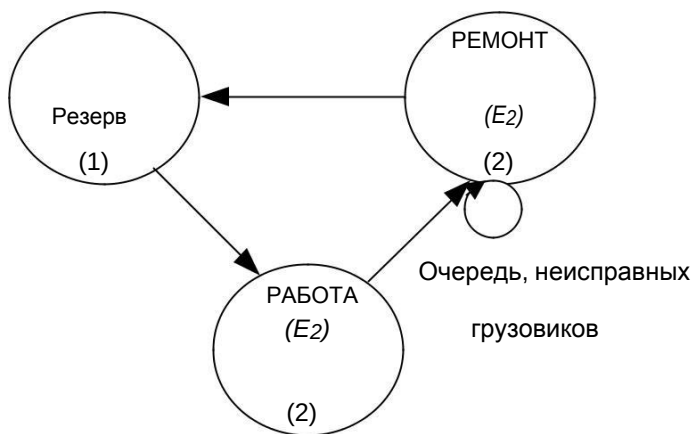


Рисунок 8.6. Операционная схема системы.

Мы должны вычислить интенсивность перехода между фазами. Эта интенсивность - параметры своих показательных распределений.

Распределение Эрланг второго заказа со средними 10 ч означает что интенсивность

• $= 2/10 = 0.2$. Точно так же распределение Эрланг второго заказа со средними 3,1 ч означает интенсивность $\lambda = 2/3.1 \cong 0.65$.

Определение репертуара эксплуатации .

Ситуация здесь отличается от этого в анализе непрерывных систем. Состояния здесь разделены на фазы, и процесс изменений фаз определен. Эти фазы предусмотрены и нереалистичные. Когда это признано, фазы смешаны, и таким образом возвращение к действительности достигнуто.

Давайте введем уведомление о состояниях фаз системы, которую рассматривают как:

$$(a, b, c, d)^5$$

где каждое письмо означает количество машин в данной фазе. Все эти числа очевидно случайны. В нашем случае письма могут взять ценности: 0, 1, 2. Уведомление будет согласно правилу, которое принято в теории очередей. Данная машина начинает обязанность (работа) в *s-фазе* и концы в первой фазе. Точно так же ремонт начинается в *v-фазе* и закончен в первой фазе. Переходы бегут справа налево. Говоря это различным способом — число фаз равняется количеству фаз, требуемых закончить работу/ремонт. Поскольку лучшее понимание позволило нам рассмотреть — например — следующие состояния фаз: (2000), (0201) и (0011).

Состояния фаз (2000) средство, что 2 машины в фазе работы с низким потенциалом (говорят, непосредственно перед неудачей), нет никакой машины в фазе работы с высоким потенциалом, нет никакой машины во второй фазе ремонта и в первой фазе ремонта. Вывод: одна машина находится в запасе.

Состояния фаз (0201) средства, что нет никакой машины в фазе работы с низким потенциалом, есть 2 машины в фазе работы с высоким потенциалом, нет никакой машины, которую ремонт собирается закончить, и есть машина во второй фазе ремонта (ремонт начался). Вывод: в запасе нет никакой машины.

Состояния фаз (0011) средство, что нет никакой машины в фазе работы с низким потенциалом, нет никакой машины в фазе работы с высоким потенциалом, есть машина в

• Обычно, количество фаз не разделены на запятые. Это уведомление - исключение, чтобы указать, что все числа отдельные.

• первая фаза ремонта и также есть машина во второй фазе ремонта. Вывод: все машины снижаются, и каждый ждет ремонта.

Проанализированная система может быть в 18 состояниях фаз. Они перечислены в матрице (показанный ниже) интенсивности переходов между состояниями. Предполагается, что время - непрерывная переменная, и поэтому только один переход возможен в данный момент вовремя. В матричных только отличных от нуля элементах вставлены. Поскольку эта матрица касается процесса Маркова тогда, сумма всей интенсивности в данном ряду должна быть нулем. Таким способом главные диагональные элементы определены.

Последний случай, который объяснит, - то, как найти проходы между фазами состояний. Давайте проанализируем, например, состояние (2000). Мы

знаем то, что это означает. Рассмотрим теперь, какие события могли бы произойти в ближайшем будущем. Одна возможность состоит в том, что одна из рабочих машин может выйти из строя, и состояние будет (1101). Номер 1 был удален из примечания 2, и это число произошло в последнем месте в примечании (ремонт начался). Машина вышла из строя — интенсивность λ . Но вместо неудавшейся машины новая единица появилась от запаса. Этот факт обозначен в смелом. Поскольку эта ситуация может коснуться обеих рабочих машин, номер 2 произошел перед интенсивностью λ в матрице. Поскольку нет никаких других возможностей, остальная часть интенсивности ноль.

Если матрица - указанное, строительство уравнений, решающих, что ограниченные вероятности состояний согласно известным принципам (см. Главу 7.3). Отклонение одного уравнения и замена его с уравнением, что сумма всех вероятностей должна быть закрыта для единства, позволяют оценкам неизвестных вероятностей быть полученными. Их показывают в Таблице 8.3.

Матрица переходов между состояниями для системы, которую рассматривают

	Для состояния															
	(2000)	(1100)	(0200)	(2001)	(2010)	(1101)	(1110)	(0201)	(0210)	(1020)	(1011)	(1002)	(0120)	(0111)	(0102)	(0020)
От состояния																
(2000)	Δ_1					2λ										
(1100)	λ	Δ_2					λ									
(0200)		2λ	Δ_3													
(2001)				Δ_4	μ							2λ				
(2010)	μ				Δ_5						2λ					
(1101)				λ	Δ_6	μ								λ		
(1110)		μ			λ	Δ_7							λ			
(0201)						2λ		Δ_8	μ							
(0210)			μ				2λ		Δ_9							
(1020)							2μ			Δ_{10}						λ
(1011)						μ				μ	Δ_{11}					λ
(1002)											2μ	Δ_{12}				λ
(0120)									2μ	λ			Δ_{13}			
(0111)								μ			λ		μ	Δ_{14}		
(0102)												λ		2μ	Δ_{15}	
(0020)													2μ		Δ_{16}	
(0011)														μ	μ	Δ_{17}
(0002)																2μ Δ_{18}

Теперь пора смешать решительные состояния, чтобы получить интересные ограниченные вероятности. Используя информацию, содержащуюся в

Таблице 8.3, распределение вероятности количества машин в состоянии работы:

$P^{(w)}$	²
$P^{(w)}$	• 0.009
$P^{(w)}$	• 0.094
$P^{(w)}$	• 0.897

Средняя стоимость: $L^{(w)} = 1.89$.

В соответствии с этим методом мы можем решить, что распределение вероятности количества машин в ремонте:

$P(r)$	• 0.521
$P(r)$	• 0.376
$P(r)$	• 0.094
$P(r)$	• 0.009

Средняя стоимость: $L(r) \approx 0.591$.

У системы без запасной единицы есть распределение вероятности количества машин в состоянии работы:

$P^{(w)}$	• 0.055
$P^{(w)}$	• 0.36
$P^{(w)}$	• 0.585

со средним:

$$L^{(w)} \approx 1.53.$$

Таблица 8.3. Ограниченное распределение вероятности состояния фаз системы.

оэтому увеличение системной продукции из-за одного дополнительного грузовика как запасная единица - $1.89 - 1.53 = 0,36$ продукции грузовика. Принятие во внимание эффективной продукции грузовика и цены щебня, который мы можем приблизительно оценить, является ли решение купить этот новый самосвал рациональным. Если мы хотели бы рассмотреть проблему более тщательно, экономический аспект ремонтных работ плюс вероятные колебания цены щебня должен быть принят во внимание. ◀

В конце рассмотрения систем Эрлангian должны быть сделаны некоторые замечания. С математической точки зрения методы анализа этих систем было известно в течение многих лет (cf. Копоцинский 1973) и их легко провести.

Число состояния	Состояние фаз	Количество неисправных машин	Количество машин в работе	Вероятность
1	(2000)	0	2	0.1764
2	(1100)	0	2	0.2522
3	(0200)	0	2	0.0926
4	(2001)	1	2	0.0198
5	(2010)	1	2	0.031
6	(1101)	1	2	0.104
7	(1110)	1	2	0.0982
8	(0201)	1	2	0.0664
9	(0210)	1	2	0.057
10	(1020)	2	1	0.01
11	(1011)	2	1	0.0186
12	(1002)	2	1	0.007
13	(0120)	2	1	0.0128
14	(0111)	2	1	0.0296
15	(0102)	2	1	0.0156
16	(0020)	3	0	0.004
17	(0011)	3	0	0.004
18	(0002)	3	0	0.001

Распределения вероятности в этих системах не показательные, и это - фундаментальное преимущество. Однако проблемы происходят, когда количество машин в системе, которую рассматривают, большое, когда количество ремонта выдерживает увеличения или заказ увеличений

распределения Эрланг. Матрица интенсивности переходов между состояниями увеличивается в значительной степени, и набор уравнений раньше решал, что ограниченные вероятности состояниями могут включить несколько сотен уравнений или еще больше. Взятие к рассмотрению, что каждое распределение вероятности всегда - только определенное приближение действительности, особенно потому что один параметр - натуральное число и компьютеры, решая такое большое количество уравнений, будут круглые результаты, у результатов вычислений может быть низкая вероятность. Кроме того, тщательный анализ сложной системы, используя схему Эрлангian является вполне утомительной и отнимающей много времени работой.

8.7 МОДЕЛЬ ТАКАС

Эта модель, относящаяся ко времени 1962, интересна с добывающей точки зрения, потому что ее заявление к горной промышленности технических проблем было рассмотрено в 1968 Копосицка. Эта модель попадает в проблемную область ремонтника, но это более общее, чем Пальмовая модель. В Пальмовой системе оба распределения вероятности показательны в модели Такас, одно распределение выпущено от своих показательных пут. Эта модель без запаса и без потерь.

Описание модели следующие. Система состоит из m , рабочие машины и распределение вероятности времен между услугами - показательная. Время обслуживания может быть определено любым типом распределения — что означает, что это - общий случай. Сервисная подсистема состоит только из одной единицы. Все машины обслуживаются согласно принципу *FIFO*, и очередь создана перед обслуживанием, стоят, если это занято. Таким образом системное примечание:

$$M/G/1/m$$

Рисунок 8.7 иллюстрирует операционную схему системы.

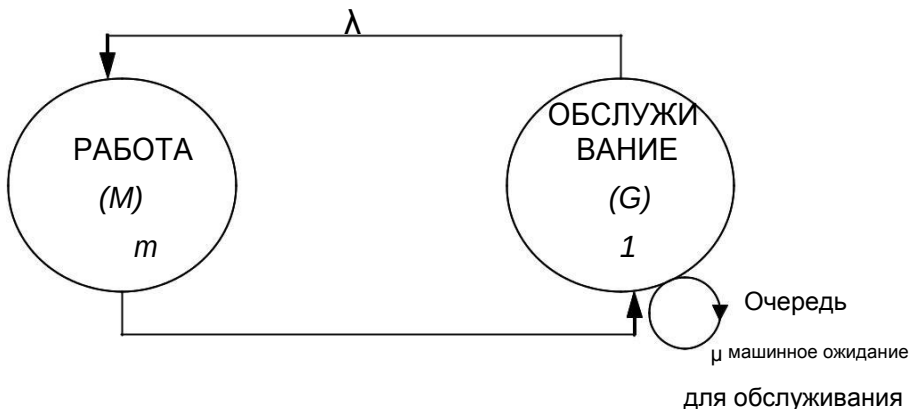


Рисунок 8.7. Операционная схема системы Такас.

Анализ этой системы будет сделан, считая пример весьма схожим с одним проанализированным Копосицка (1968). Однако подход к некоторым техническим аспектам проблемы будет несколько отличаться.

Пример 8.4

Операция шахты гравия анализируется, где один совок власти загружает гравий на самосвалы. Гравий поставлен заводу, производящему сборные конкретные элементы. Гравий разгружен на заводе, и грузовик возвращается в шахту. Время загрузки грузовика - случайная переменная определенного распределения вероятности $G(t)$ со средним T и небольшое различие. Полное время путешествия на грузовике, которое является для возвращения свалки трофея цикла, является случайной переменной, по экспоненте распределенной с параметром λ . Представление системы показывают на рисунке 8.8.

На основе упрощенного экономического анализа мы попытаемся найти

7007TS CZAPLIC 0910-01 Book.indb183 183

11/13/2009 15:10:56

оптимальное количество грузовиков для системы.

Заметьте в самом начале, что вместо классического ремонтного завода у нас есть здесь различный сервисный центр — пункт погрузки. Все, кажется, правильно, но мы 'потеряли' надёжность машины. Мы возвратимся к этой проблеме позже.

В этом упрощенном экономическом анализе мы пренебрежем постоянной стоимостью. Давайте рассмотрим операционную стоимость, которая будет суммой двух компонентов:

- стоимость, пропорциональная количеству грузовиков в системе — km_1
- стоимость, пропорциональная среднему количеству грузовиков в операции — $k\sum_i q_{2i}$

где:

k_1, k_2 — пропорциональные коэффициенты; $k_2 > k_1$ из-за очевидных причин

$\sum_i q_{2i}$ — среднее количество грузовиков путешествия

q_i — вероятность, что i грузовики путешествуют.



Рисунок 8.8. Система шахты гравия от примера 8.4.

Доход с шахты пропорционален доле рабочего времени совка. Обозначьте этот пропорциональный коэффициент k . Таким образом прибыль шахты может быть выражена формулой:

$$Z = k(1 - q_m) - k_1 m - k_2 \sum_{i=1}^m i q_i \quad (8.14)$$

Прибыль шахты зависит от количества используемых машин, который очевиден, и зависит в большой степени от надежности включенного оборудования (как с системами грузовика совка, который был ясно доказан в монографии Чаплицкий 2009). К сожалению, этой последней проблеме недостает модели, которую рассматривают.

Давайте обсудим результаты, полученные Такас.

Мы начинаем наше внимание от лапласовского преобразования времен погрузки. Вспомните,

Лапласовское преобразование функции $f(t)$ является интегралом:

$$f^*(s) = \exp\left(-T_z s + \frac{\sigma_z^2 s^2}{2}\right)$$

если функция определена для $t \geq 0$, это непрерывно и увеличивается не больше, чем определенная показательная функция Se_{σ^2} (в).

Это - известное то, что времена погрузки на практике могут быть удовлетворительно описаны нормальным распределением $N(T_z, \sigma_z)$, но это распределение определено на целой оси действительных чисел. Это не соответствует действительности. Таким образом предположение обычно делается этим $\sigma_z \ll T_z$ (это часто держится на практике), что означает, что массой вероятности по отрицательной части оси можно пренебречь. Лапласовское преобразование нормального распределения:

$$f^*(s) \approx \exp(-T_z s) \quad (8.15)$$

Поскольку второй компонент имеет более низкоеуровневое, им можно пренебречь, и поэтому он может
будьте приняты что:

$$f^*(s) \approx \exp(-T_z s) \quad (8.15)$$

Определив эту функцию, следующий набор вспомогательных функций и распределений вероятности должен быть определен:

$$C(r) = \prod_{s=1}^r \frac{f^*(s\lambda T_z)}{1 - f^*(s\lambda T_z)} \quad C(0) = 1 \quad r = 1, 2, \dots, m-1 \quad (8.16)$$

$$B(r) = C(r) \frac{\sum_{j=r}^{m-1} \binom{m-1}{j} C^{-1}(j)}{C(0) + \sum_{j=r}^{m-1} \binom{m-1}{j} C^{-1}(j)} \quad B(0) = 1 \quad (8.17)$$

$$P(j) = \sum_{r=j}^{m-1} (-1)^{r-j} \binom{r}{j} B(r) \quad P(0) = 1 + \sum_{r=1}^{m-1} (-1)^r B(r) \quad (8.18)$$

Если так, ограниченное распределение вероятности количества грузовиков путешествия $\{q_i\}$ определено формулой:

$$q_i = \frac{mP(i-1)}{i(m\lambda T_z + P(m-1))} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad q_0 = 1 - \sum_{i=1}^m q_i \quad (8.19)$$

Таким образом ограниченным распределением вероятности количества грузовиков в совке дают:

$$Q_i = q_{m-i} \quad i = 0, 1, \dots, m \quad (8.20)$$

Предположите, что среднее время погрузки грузовика составляет 3,5 минуты, и среднее время путешествия на грузовике составляет 38 минут. Позвольте пропорциональным коэффициентам быть $k = 1000$, $k_1 = 10$ и $k_2 = 60$. Вычислите ограниченные распределения вероятности количества грузовиков в совке для различного количества используемых самосвалов: $m = 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 14$.

Результаты вычислений даны в Таблице 8.4.

Давайте сделаем некоторые комментарии относительно результатов содержащимися в этом столе. У некоторой информации есть общий характер.

Таблица 8.4. Ограниченные распределения вероятности количества грузовиков в совке и среднего количества грузовиков в совке и экономической оценке.

Q_i	Количество грузовиков в системе									
	i	3	5	7	9	11	12	13	14	15
0		0.749	0.587	0.431	0.287	0.164	0.114	0.073	0.043	0.023
1		0.227	0.327	0.371	0.352	0.273	0.218	0.161	0.107	0.064
2		0.023	0.077	0.152	0.223	0.251	0.238	0.206	0.161	0.111
3		0.001	0.009	0.039	0.097	0.169	0.195	0.203	0.188	0.153
4				0.007	0.031	0.09	0.128	0.162	0.182	0.177
5					0.007	0.037	0.067	0.106	0.145	0.171
6					0.001	0.012	0.028	0.056	0.095	0.137
7						0.003	0.009	0.023	0.05	0.089
8							0.002	0.007	0.021	0.047
9								0.002	0.007	0.02
10									0.001	0.006
11										0.001
$\Sigma i q_{я}$		0.3	0.5	0.8	1.3	1.9	2.4	2.9	3.6	4.4
Z		57.5	94.1	128.4	158.5	181.4	188.9	193	193.5	190.6

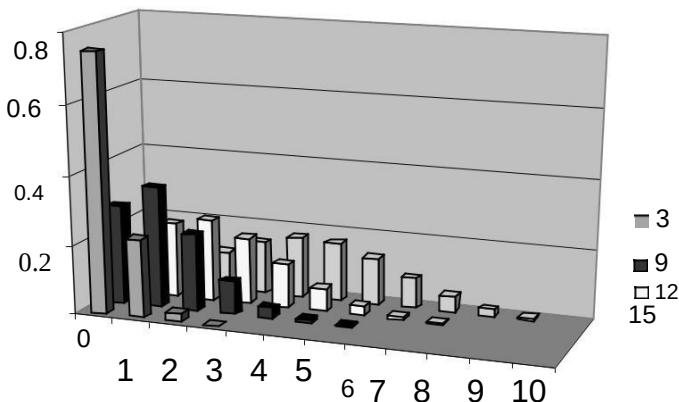


Рисунок 8.9. Распределения вероятности количества грузовиков в совке для различного количества грузовиков в системе.

Давайте заметим, сначала, это, когда число откатчиков в системных увеличениях, распределение вероятности количества грузовиков в совке изменит свой характер. Когда есть отличная нехватка грузовиков, у распределения есть показательный характер. С растущим числом откатчиков в системе распределение теряет свой показательный характер, массовое распределение становится более плоским, и эта масса переезжает от нуля. Самая вероятная ситуация также отказана с нуля (см. рисунок 8.9). У всех этих изменений есть значение в разработке. У того, когда масса вероятности расположена около нуля, это означает, что власть сгребает оператора, есть много свободного времени.

Когда масса вероятности переезжает от происхождения координат, этот оператор становится более занятым и более занятым. Однако заметьте некоторую тонкость. То, когда есть 9 грузовиков в системе, среднее число откатчиков в совке - больше чем один (точно, 1.3), но почти в 30% окружают оператор совка, будет ждать грузовика, который будет загружен. Когда количество самосвалов достигает 14, он 'смертельно' занят — приблизительно 5% времени будут свободны и будет 3,6 единицы в совке в среднем.

Все эти замечания пренебрегают экономическими аспектами. Теперь, в последнем ряду Таблицы 8.4, результаты финансовых вычислений даны, показав, что самое прибыльное решение состоит в том, чтобы иметь 14 грузовиков в системе. Помните, что для различного набора финансовых параметров оптимум может быть расположен в различном пункте. ◀

Один пункт должен быть обсужден в конце этой части наших соображений.

Во многих руководствах и других публикациях, рекомендация состоит в том, учитывая, что оптимальное количество грузовиков в системе определено formula6:

Среднее время погрузки + Среднее время путешествия

Среднее время погрузки

Ни при каких условиях не должен этому совету нужно последовать. Самое большее это можно рассматривать как предложение (намек) и число, которое результаты могут быть отправной точкой, чтобы искать собственное значение. Давайте перечислим ошибки, связанные с этой формулой:

- Это полностью пренебрегает экономической стороной проблемы
- Надёжность оборудования это не учтено
- Это основано на детерминированных ценностях (среднее число - детерминированная стоимость), тогда как времена погрузки и путешествия - случайные переменные.
- Эта формула, вероятно, взята от анализа результатов детерминированного моделирования. Вы можете найти примеры этого метода анализа в Бизе 2003, однако не указано, что это - детерминированное моделирование.
- Заметьте, что, применяя эту рекомендацию мы имеем:

$$\frac{3.5 + 38}{3.5} \cong 12 \text{ откатчиков}$$

но согласно нашему вычислению желательное количество грузовиков в системе - 14 единиц.

Одна дальнейшая проблема в этих соображениях также требует замечания. Предполагалось, что у времен путешествия на грузовике есть показательное распределение. Обычно, это не держится на практике. Эмпирическое распределение в этом отношении происходит симметрично с формой, подобной нормальному распределению. Поэтому предположение не согласуется с практикой.

Давайте теперь посмотрим кратко на то, что должно быть принято во внимание, когда надёжность оборудования в системе появляется в анализе.

Давайте начнем с надёжности совка власти. Если надёжность этой машины погрузки уменьшится, 'поток' гравия станет все более узким. Поэтому меньше буксирующих единиц будет необходимо для системы. Кроме того, почти каждый ремонт совка, который занимает больше времени, чем среднее время путешествия на грузовике, создаст регенерацию процесса эксплуатации системы, и процесс 'начнется с начала'. Все хорошие грузовики возвратятся из разгружающегося пункта. Заметьте, что, если процесс погрузки начинается снова, особенности эксплуатации будут отличаться от тех, которые найдены, когда процесс эксплуатации стабилизирован.

Давайте теперь обсудим проблему надёжности грузовика. Если надёжность буксирующих машин должна быть принята во внимание, это означает, что рандомизация должна быть сделана. Ранее, количество грузовиков было детерминированной стоимостью, теперь это становится случайной переменной. Необходимо определить свое распределение вероятности.

Очевидно, чем ниже доступность грузовика, тем больше число, которое требуется в системе.

Кроме того, мы должны принять во внимание, что почти всегда для больших систем этого вида запас грузовика устроен. Возникновение запаса изменяет метод системного вычисления грузовика. Идя далее вдоль этой цепи рассуждений, существование обслуживания/ремонтной мастерской грузовика должно быть принято во внимание также. Если у этого магазина будет низкая способность создания ремонтных работ, очередь из неудавшихся грузовиков появится перед магазином. Поэтому больше единиц будет необходимо. Если этот анализ проводится еще в большей глубине, надёжность стендов ремонта нужно также рассмотреть. Анализ становится сложным, но он может быть сделан успешно. Все эти проблемы были обсуждены в монографии Чаплицкий 2009.

8.8 МОДЕЛЬ МАРИАНОВИЧ

Данная система состоит из m гомогенных машин, предписанных работать и r машины в холодном запасе (то есть, интенсивность отказов машин в запасе незначительна). Предполагается, что рабочие машины могут выйти из строя с постоянной интенсивностью ϵ . Семинар в системе содержит соответствующее количество ремонта, стоит так, чтобы все неудавшиеся машины могли быть отремонтированы одновременно (то есть, количество стендов ремонта - $m + r$). Поэтому нет никакой очереди машин, ждущих ремонта. Также предполагается, что времена ремонта - независимые случайные переменные, характеризуемые общим распределением вероятности $G(x)$. Математическое ожидание этой переменной известно и равняется T_n , и поэтому интенсивность ремонта - $\eta = T - I_n$. Кроме того, три классических предположения для систем очереди выполнены, а именно:

- машины подаются в *FIFO* (метод «первым пришел - первым вышел»)
- режим
- ремонт полностью восстанавливает способность машины работать
 - случайные переменные модели — времена работы и ремонта — независимы друг от друга.

Графическое представление модели Марианович показывают на рисунке 8.10. Согласно примечанию Кендалла, модель Марианович может быть дана как:

$$M/G/m + r/r$$

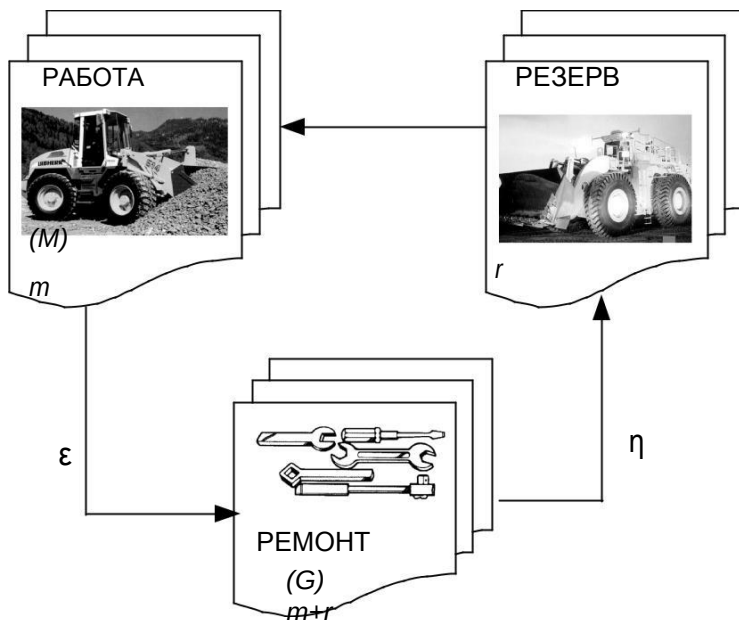


Рисунок 8.10. Операционная схема системы Марианович.

Это было доказано (см., например, Марианович 1961, Копоцкий 1973), что у системы, описанной здесь, есть распределение вероятности многих неудавшихся машин (то есть, машин в состоянии ремонта) описанный формулой:

$$P_k^{(n)} = \begin{cases} P_0^{(n)} (\kappa^k / k!) m^k & \text{for } k = 1, 2, \dots, r \\ P_0^{(n)} (\kappa^k / k!) m^r m(m-1) \dots (m-k+r+1) & \text{for } k = r+1, \dots, m+r \end{cases} \quad (8.23)$$

где $\kappa = \epsilon T_n$ является частотой ремонтов и очевидно:

$$\sum_{k=0}^{m+r} P_k^{(n)} = 1$$

Пример 8.5

Операция карьера проанализирована, и спрос состоит в том, чтобы произвести X m^3 совокупного камня. Шахта управляет T_d h/day, и использование этого времени - ϕ , $0 \leq \phi \leq 1$. Щебень загружен фронтальными погрузчиками шахты на грузовики, поставленные клиентом. Продукция единственного погрузчика - W m^3/h . Распределение вероятности рабочих времен погрузчиков показательно с параметром λ . Среднее время ремонта этих машин - $T_r = \mu^{-1}$. Условия эксплуатации таковы, что из-за ограниченного пространства на шахте (шахта расположена в горах) только m погрузчики

может работать одновременно, самое большее. Иначе они тревожат друг друга. Проблема состоит в том, чтобы найти, что количество погрузки машин выполняет требование клиента.

Предмет интереса - система фронтальных погрузчиков. Имея в виду информацию, которая только m этих машин может работать одновременно, мы можем предсказать, что несколько машин должны быть в запасе, потому что спрос высок. Зная, что система обслуживания шахты хороша, можно предположить, что каждый погрузчик в неудаче будет отремонтирован незамедлительно. Поэтому примечание системы:

$$M/G/m + r/r$$

и это - система типа Марианович.

Ограниченное распределение вероятности количества неудавшихся машин определено формулой 8.23. Легко видеть, что номер n погрузчиков, необходимых, чтобы выполнить требование клиента, может быть

полученный из уравнения:

$$n = \nabla \left(\frac{X}{T_d \phi W A} \right) \quad n \in \mathfrak{R} \quad (8.24)$$

где:

$\nabla (y)$ означает, что действительное число y должно быть окружено к самому близкому натуральному числу A , установившаяся доступность погрузки машины.

Эффективная производительность рудника в день определена формулой:

$$G_r = T_d \phi W \left[m \sum_{k=0}^r P_k^{(n)} + \sum_{k=1}^m (m-k) P_{r+k}^{(n)} \right]. \quad (8.25)$$

Эта формула довольно интересна. Продукт первых двух компонентов - эффективное число часов работы единственной машины в день — то есть, время работы, которую мы можем ожидать в конечном счете в среднем. Этот продукт, умноженный на номинальную продукцию погрузчика, указывает на то, что должно быть фактической производительностью погрузчика в долгосрочной перспективе. Компоненты в квадратных скобках относятся к трем пунктам: установившееся наличие машин, их числа и существования запаса. Первый компонент в этой скобке показывает установившуюся доступность системы с полной продукцией — все неудавшиеся машины заменены единицами от запаса. Второй компонент определяет установившуюся доступность системы, когда система производила уменьшения потому что количество рабочих машинных уменьшений — то есть, когда нет никаких запасных машин, и те в операции входят вниз состояния. Можно указать, что установившаяся доступность системы определена в квадратных скобках.

Если $G_r > X$ это означает, что требование клиента выполнено.

Давайте предположим эти данные: $T_d = 16$ ч $\phi = 0.82$ $X = 38,000$ m³/d

Некоторые погрузчики с этими параметрами:

$$W = 410 \text{ m}^3/\text{h} \lambda = 0,12 \text{ h}^{-1} \quad T_r = 2,8 \text{ ч}$$

немедленно были в ликвидации шахты. Максимальное количество рабочих машин этого типа - $m = 7$.

Вычислите:

- частота ремонтов $\kappa = \lambda T_r = 0.336$
- наличие устойчивого состояния погрузчиков = 0.749

Таким образом:

$$n = \nabla \left(\frac{X}{T_d \phi W \lambda} \right) = \nabla \left(\frac{38000}{16 \times 0.82 \times 410 \times 0.749} \right) = \nabla(9.4) \Rightarrow 10$$

Кажется довольно очевидным, что парк из 10 грузовиков, с 7 рабочими единицами и 3 в холодном запасе, будет недостаточно. Однако вычислите такую систему, чтобы определить, как далеко мы от требования клиента.

Мы имеем:

$$G_{r=3} = 16 * 0.82 * 410 \left[7 \sum_{k=0}^3 P_k^{(n)} + \sum_{k=1}^7 (7-k) P_{k+3}^{(n)} \right] \cong 32500 \text{ m}^3/\text{day}$$

потому что ограниченное распределение вероятности количества грузовиков в ремонте:

$$P_0^{(n)} = 0.180 \quad P_1^{(n)} = 0.23 \quad P_2^{(n)} = 0.27 \quad P_3^{(n)} = 0.211$$

$$P_4^{(n)} = 0.124 \quad P_5^{(n)} = 0.05 \quad P_6^{(n)} = 0.014 \quad P_7^{(n)} = 0.003$$

Дальнейшие вероятности ниже 0.000.

Давайте обсудим все возможности увеличить системное производство. Они:

- увеличение надежности машин
- увеличение в ежедневное время распоряжения
- использование машин большей продукции.

Последняя возможность в этом отношении может быть тщательным анализом того, может ли, возможно, $m + 1$ машина загрузить одновременно. Эта идея была отвергнута, учитывая тип погрузчиков. Это может быть пересмотрено, если машины меньшего размера должны использоваться на шахте.

Рассмотрите случай (а). Увеличение надежности машин может быть достигнуто в двух пути — изменив политику обслуживания машин или покупая новые и лучшие элементы оборудования. Изменения в методе

обслуживания могли быть направлены к улучшению действий ремонта и к сокращению среднего времени ремонта машин. Это могло включить лучшие диагностические процедуры, лучшее оборудование в ремонтной мастерской, лучшее качество выполненных ремонтных работ и меньше (или не) проблемы с запасными частями. Иногда некоторые профилактические действия могут быть осуществлены, чтобы уменьшить интенсивность отказов машин. Обычно, если система обслуживания имеет низкое качество, есть возможности улучшить ситуацию. Если система обслуживания хороша, возможности улучшить ситуацию являются немногими. Однако шахта оценила тот этот метод, не даст значительное увеличение производства шахты.

Есть две идеи, которые могли увеличить ежедневное время распоряжения (b). Первая идея состоит в том, чтобы уменьшить потери времени, связанные с выполнением задачи погрузки. Смотря на число $\phi = 0.82$, мы склонны оценить это, это - скорее высокое количество, и никакие захватывающие успехи не могут ожидаться в этой области. Вторая идея состоит в том, чтобы искать расширение времени распоряжения; больше чем 16 ч/день. Этого чрезвычайно трудно достигнуть. Есть две решающих проблемы. Во-первых, если расширение рабочего времени будет предложено, профсоюз будет против него. Эта оппозиция может измениться, если дополнительная хорошая плата предоставлена. Это обычно очень дорогостоящее. Во-вторых, это требует расширения рабочего времени парка грузовиков (связанный с клиентом) и снова дополнительные расходы. По этим причинам этот метод выглядит неэффективным.

Давайте теперь обсудим третью возможность (c). Это решение требует дополнительных фондов. Должны были бы быть куплены новые машины; однако, некоторое восстановление может ожидаться от продажи флота существующих машин, которые под рукой на шахте. Дилер погрузчиков, который обычно поставяет машины шахте, предложил использование погрузчиков с большей продукцией — 590 м³/h. У этих машин были более крупное ведро погрузки, большая власть и немного большие размеры. Поскольку производительность этих новых элементов оборудования больше 44% за систему из 7 рабочих машин с одной в холодном запасе, был рассмотрен. Это привело бы к следующим результатам.

- Ограниченное распределение вероятности количества грузовиков в ремонте:

$$P_0^{(n)} = 0.180 \quad P_1^{(n)} = 0.23 \quad P_2^{(n)} = 0.27 \quad P_3^{(n)} = 0.211$$

$$P_4^{(n)} = 0.124 \quad P_5^{(n)} = 0.05 \quad P_6^{(n)} = 0.014 \quad P_7^{(n)} = 0.003$$

и дальнейшие вероятности ниже 0.000

- Эффективная производительность рудника:

$$G_{r=3} = 16 * 0.82 * 590 \left[7 \sum_{k=0}^1 P_k^{(n)} + \sum_{k=1}^7 (7-k) P_{k+1}^{(n)} \right] \cong 39700 \text{ м}^3/\text{день}$$

Этот результат на 10% больше, чем необходимо. Это - хороший результат. Даже если некоторые недостатки обнаружены с новыми грузовиками, требование должно быть выполнено. Если еще некоторые волнения происходят, увеличение количества запасных единиц должно решить проблему.

Выглядит на первый взгляд, как будто проблема наконец решена, но не полностью. Некоторые дополнительные проблемы нужно тщательно рассмотреть.

Во-первых, у этих новых машин есть большие размеры, чем те, они заменяют. Нужно определить, могут ли 7 единиц все еще работать без беспорядков. Если, возможно, только 6 машин могут быть использованы, вычисления должны быть повторены, приняв во внимание эту новую ситуацию.

Во-вторых, у этих новых машин есть более крупное ведро. Рекомендуется, чтобы отношение вместимости ковша к способности коробки грузовика было проверено. Если эти новые инструменты погрузки имеют очень большой объем относительно объема коробки грузовика, некоторые новые проблемы могли бы появиться. Большой разрыв загружаемого щебня будет, вероятно, вызывать более длительное среднее время погрузки. Кроме того, более тяжелые грузы могут означать, что увеличенное воздействие во время погрузки может уменьшить длительность некоторой сборки грузовиков (приостановка, подкладка коробки, и т.д.). Все они должны быть проверены на практике.

В-третьих, экономический аспект покупки новых машин должен быть исследован. Главный вопрос состоит в том, являются ли требования покупателя щебня в течение достаточно долгого промежутка времени, что деньги, потраченные, чтобы купить новые погрузчики, будут возмещаться, и некоторая прибыль будет получена.

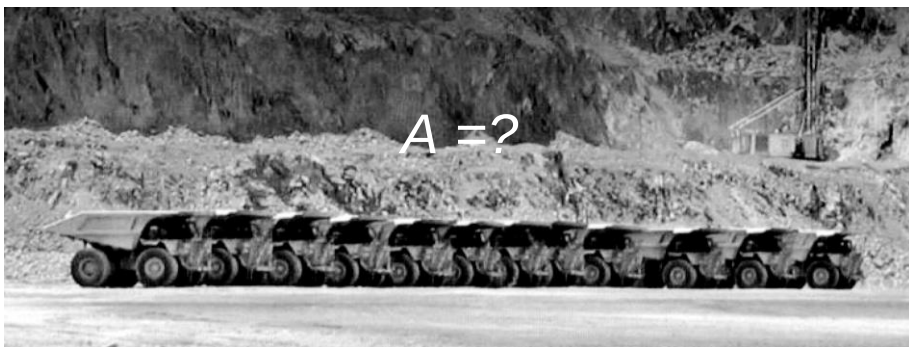
Еще одна важная проблема была проигнорирована до настоящего времени — прибытие грузовиков, чтобы загрузить совокупный камень. Можно указать с вероятностью около той, что некоторые периоды произойдут, где будет нехватка самосвалов. Погрузчики будут ждать перевозки машин. Высокое количество этого дефицита может изменить экономические вычисления. Во всесторонней системе должны быть проанализированы вычисления этой ситуации. ◀

8.9 РАНДОМИЗИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ МАРИАНОВИЧ

Выглядит, как будто проблема в Примере 8.5 была исследована полностью. Однако один пункт, вполне чувствительный не был проанализирован с соответствующим вниманием. Дилер, предлагающий новые погрузчики, заявил, что надёжность новых машин должна быть приблизительно идентична тем, они заменили. Это будет так?

Для шахты предложенные машины не существуют — в смысле машин, имеющих историю эксплуатации. Если эти машины будут куплены поддержанные, то мы можем ожидать, что некоторая ‘история операции’ будет доступна, и некоторые индексы надёжности могут быть примерно оценены на основе этой истории. Но в случае, который рассматривают этими машинами, будет поставлен новым, и мы можем только предсказать ценности их параметров надёжности. Это означает, что наши расследования должны быть перемещены к теории прогноза. Как сделать это?

Главный параметр интереса - установившееся наличие машин. Это известно от практики, что, покупая много машин данного типа, у каждой единицы будет a



немного отличающаяся ценность этого параметра доступности на практике. Поэтому это довольно рационально, что мы можем рассматривать его как случайную переменную.

Если так, возникают два важных вопроса:

- Каков тип случайной переменной?
- Как эта информация должна быть включена в процедуру оценки количества погрузчиков, требуемых выполнять требование клиента?

Давайте начнем отвечать на первый вопрос. Случайная переменная A определена по $[0, 1]$ интервал. Самая популярная теоретическая случайная переменная, поддержанная в таком космосе, является бетаой один. Это распределение вероятности использовалось в течение многих лет в теории надёжности и теории эксплуатации определить установившуюся доступность. Это касается ряда нескольких элементов оборудования того же типа с

идентичными геометрическими и механическими параметрами 7, Это было также применено, чтобы описать распределение использования элементов оборудования (например, Чаплицкий 1977).

Вспомните из Главы 5, что бета вероятность distribution⁸ является семей непрерывных распределений вероятности, определенных по интервалу $[0, 1]$ параметризовавший двумя положительными параметрами формы и в котором плотность распределения вероятности определена формулой 5.31:

$$f(x) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} x^{p-1} (1-x)^{q-1} \quad 0 \leq x \leq 1, p > 0, q > 0$$

Часто, вместо гамма функций бета функция используется здесь, который определен как:

$$B(p, q) = \int_0^1 x^{p-1} (1-x)^{q-1} dx \quad (8.26)$$

и

$$B(p, q) = \frac{\Gamma(p)\Gamma(q)}{\Gamma(p+q)} \quad (8.27)$$

Математическое ожидание и стандартное отклонение даны Уравнениями 5.32.

Для $p > 1$ и $q > 1$ у плотности распределения есть свой максимум в пункте $x = (p-1)/(p+q-2)$.

Как известен из теории, граф этой функции может создать различные формы как шоу рисунка 8.11.

Давайте теперь определим, какие свойства плотность распределения вероятности случайной переменной **A** должна иметь. Наши ожидания могут очень вероятно быть, встречаются функцией, показанной на рисунке 8.12 потому что:

- у этой функции есть один максимум
- его способ и средняя стоимость близки один (на самом деле, машины имеют высокую надёжность).

Преобразовывая вышеупомянутые соглашения в математическую форму, ясно сформулированную параметрами функции, мы можем сказать, что ищем плотность распределения, для которой держится следующее неравенство:

$$\frac{\kappa \left[\kappa - S_a^2 (1 + \kappa)^2 \right]}{S_a^2 (1 + \kappa)^3} > 1 \quad (8.28)$$

- Проблема однородности машин проанализирована в Главе 10.

- Это - особый случай распределения Дирихле только с двумя параметрами, и это - также особый случай распределения Эйлера, снова только с двумя параметрами.

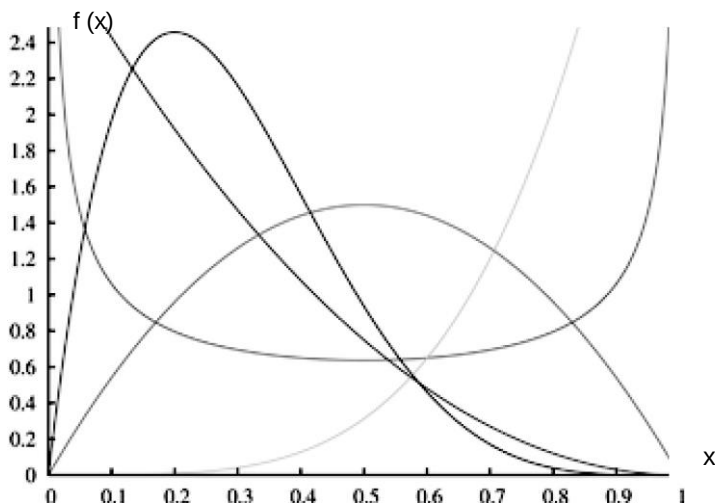


Рисунок 8.11. Бета плотности распределения вероятности для различных значений параметров.

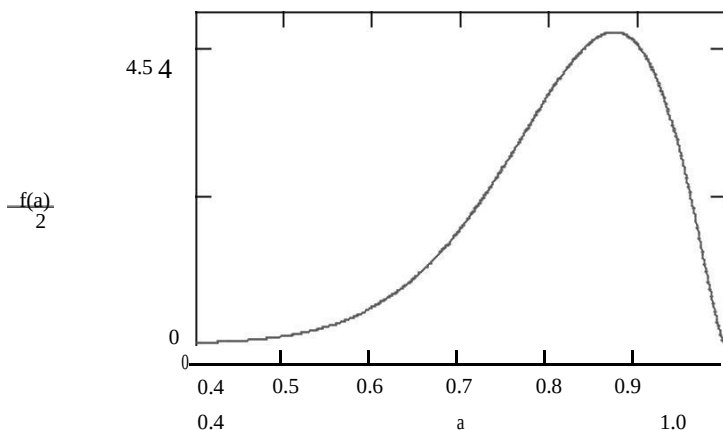


Рисунок 8.12. Пример плотности распределения вероятности установившейся доступности рассматривал как случайная переменная.

где:

$\kappa = \frac{1 - \bar{a}}{\bar{a}}$ и, очевидно, это - частота ремонтов машины

$\bar{a}$ - средняя из установившейся доступности A

S_a^2 - различие установившейся доступности A .

Как альтернативная плотность распределения вероятности может быть применена следующая функция:

$$z(a) = \frac{\gamma^c \delta^d [a^{d-1} (1-a)^{c-1}]}{B(c, d) [\delta a + \gamma (1-a)]^{c+d}} \quad 0 \leq a \leq 1 \quad c > 0 \quad d > 0 \quad \gamma > 0 \quad \delta > 0 \quad (8.29)$$

Это - плотность распределения вероятности Эйлера. Легко заметить, что для $\gamma = \delta$ эта функция становится бета плотностью распределения. Плотность распределения Эйлера была применена впервые в расследованиях надежности в 1960-х в связи с расследованиями мер по доступности различных типов. Эта функция должна дать более соответствующее описание эмпирических данных, потому что у этого есть четыре параметра. Однако для такой функции нужно намного больше данных, чтобы получить соответствующую оценку этих параметров, и поэтому у этого есть низкая применимость.

Давайте теперь составим список информации, которая будет полезна для нашего расследования оборудования.

У нас должны быть детали о:

- среднее значение установившегося наличия машин
- среднее время ремонта машин T_n
- среднее рабочее время машин T_p
- стандартное отклонение S_a установившегося наличия машин.

Тем не менее, если мы обращаем более близкое внимание, мы можем добавить еще одну информацию. Предполагая, что производитель машины известен на рынке — то есть, его продукты имеют высокое качество — мы можем предположить, что должен быть определенный уровень надежности машин m (минимальная) и что у новых предлагаемых погрузчиков должен быть, по крайней мере, этот уровень. Если так, распределение вероятности случайной переменной A является усеченным, определенным по $[A_m, 1]$. Таким образом плотностью распределения вероятности дадут:

$$f_i(a) = \frac{f(a)}{\int_{A_m}^1 f(x) dx} \quad a \in [A_m, 1] \quad (8.30)$$

где $f(a)$ определен образцом (8.26).

Если это так, два самых важных параметра определены уравнениями:

$$\bar{a} = \frac{\int_{A_M}^1 xf(x)dx}{\int_{A_M}^1 f(x)dx} \quad S_a = \frac{\int_{A_M}^1 (x - \bar{a})^2 f(x)dx}{\int_{A_M}^1 f(x)dx} \quad (8.31)$$

Если эти параметры известны, мы можем решить набор уравнений, чтобы получить оценки параметров p и q для усеченного распределения 8.30.

Теперь, пора включать эту информацию в процедуру вычисления. Давайте вспомним формулу 8.25 для эффективной системной продукции, указывая на случайную переменную интереса. Здесь мы имеем:

$$G_r(A) = T_d \Phi W \left[m \sum_{k=0}^r P_k^{(n)}(A) + \sum_{k=1}^m (m-k) P_{r+k}^{(n)}(A) \right] \quad (8.32)$$

Вероятности в этой формуле - условные. Чтобы освободить их от этой собственности, необходимо принять во внимание все возможности, определенные распределением вероятности. Поэтому вероятность, что 0 машин будут в ремонте, дана формулой:

$$P'_0 = \left\{ \int_{A_M}^1 \left[1 + \sum_{k=1}^r \left(\frac{1-a}{a} \right)^k \frac{m^k}{k!} + \sum_{k=r+1}^{m+r} \left(\frac{1-a}{a} \right)^k \frac{m!m^r}{k!(m-k+r)!} \right] f_r(a) da \right\}^{-1} \quad (8.33a)$$

Дальнейшие вероятности определены:

$$P'_c = \int_{A_M}^1 P'_0 \left(\frac{1-a}{a} \right)^c \frac{m^c}{c!} f_r(a) da \quad \text{for } c = 1, 2, \dots, r \quad (8.33b)$$

$$P'_c = \int_{A_M}^1 P'_0 \left(\frac{1-a}{a} \right)^c \frac{m^r m!}{c!(m-c+r)!} f_r(a) da \quad \text{for } c = r+1, \dots, r+m \quad (8.33c)$$

Пример 8.6

Давайте предположим, что карьер управляет $T_d = 16$ h/d, но что использование этого времени - $\Phi = 0.76$. Продукция единственного погрузчика - $W = 590$ m³/h и требование клиента для $X = 40,000$ m³/d. Машинный дилер гарантирует это, минимальный уровень надежности/доступности $M = 0.5$. Он утверждает, что среднее установившееся наличие погрузчика 0.76 со стандартным отклонением приблизительно 0,10. Давайте повторим наши вычисления.

Во-первых, проверьте условие 8.28. Здесь мы имеем:

$$\frac{\kappa \left[\kappa - S_a^2 (1 + \kappa)^2 \right]}{S_a^2 (1 + \kappa)^3} = 4.14 > 1$$

Давайте теперь оценим неизвестные параметры распределения. Решая набор уравнений 8.31 мы получаем:

$$p = 11.3 \quad q = 3.68$$

Это параметры усеченного распределения, поддержанного по $[0.5, 1]$ интервал. Распределение вероятности установившегося наличия погрузчиков, предлагаемых данным производителем, показывают на рисунке 8.13.

Давайте обратим внимание, что среднее значение — если информацией о минимальном уровне доступности пренебрегают — 0.75, и соответствующее стандартное отклонение 0.24. Изменения в ценностях основных статистических параметров явно видимы.

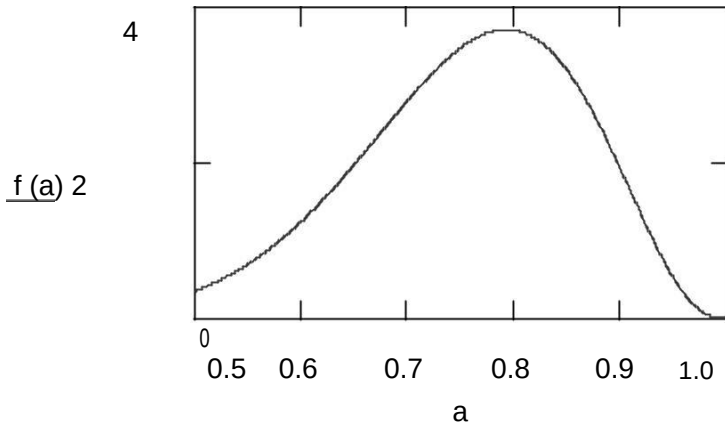


Рисунок 8.13. Плотность распределения вероятности установившегося наличия погрузчиков предложена производителем.

Теперь оцените массу вероятности, которая отключена из-за усечения. Объединяя плотность распределения по $[0, 0.5]$ интервал мы добиваемся 0.019. Этот результат указывает, что мы можем пренебречь усечением, и произведенная ошибка не будет большой. Заметьте, что такое отношение более скептически (более осторожный).

У плотности распределения вероятности бета типа с этими свойствами также есть свойство что:

$$E(A) < Me(A) < Mo(A). \quad (8.34)$$

В случае, который рассматривают:

$$E(A) = 0.754 < Me(A) = 0.766 < Mo(A) = 0.794$$

где Me означает здесь медиану, и Mo имеет в виду способ.

Эта собственность хороша для клиента. Это означает, что, если мы делаем выбор машины высокой надежности и мы ничего не знаем кроме информации на среднем уровне надежности/доступности, мы находимся в хорошей ситуации. Мы можем ожидать, что отобранная машина будет, вероятно, иметь более высокую надёжность, чем среднее число. Две проблемы должны быть приняты во внимание. Во-первых, если прогноз делается только однажды, рекомендуемый принцип должен выбрать способ случайной переменной, потому что это - самая вероятная стоимость, и этот способ, очевидно, больше, чем среднее. Во-вторых, можно ожидать, что больше чем в 50% случаев у отобранной машины будет большая надёжность, чем среднее потому что $E(A) < Me(A)$.

Теперь мы можем вычислить, количество машин должно было выполнить требование клиента. Рассмотрение формулы 8.24 мы имеем:

$$n = \frac{X}{WT_d \phi} = 5.6$$

Это - среднее количество погрузчиков в состоянии работы, которое необходимо на шахте. Принимая во внимание наличие погрузчика мы имеем:

$$V = \frac{n}{A_M} = 7.3 \Rightarrow 8$$

Это означает, что 8 погрузчиков решительной установившейся доступности требуются на шахте. Но, если известно, что только m машины может работать одновременно и $m < V$, мы должны разделить флот погрузчика на два набора полномочий: m и r . Предположите, как в предыдущем примере, это $m = 7$. Чтобы вычислить количество машин в состоянии работы для такой системы, модель Марианович может быть применена, дав следующие результаты.

- Ограниченное распределение вероятности количества грузовиков в ремонте:

$$P_0^{(n)} = 0.125 \quad P_1^{(n)} = 0.277 \quad P_2^{(n)} = 0.306 \quad P_3^{(n)} = 0.193$$

$$P_4^{(n)} = 0.076 \quad P_5^{(n)} = 0.019 \quad P_6^{(n)} = 0.003$$

и дальнейшие вероятности ниже 0.000.

- Среднее количество погрузчиков в состоянии работы - приблизительно 6, с 1,89 в неудаче и 0.11 в запасе.

Если установившееся наличие погрузчиков, как предполагают, является случайной переменной, результаты вычислений следующие.

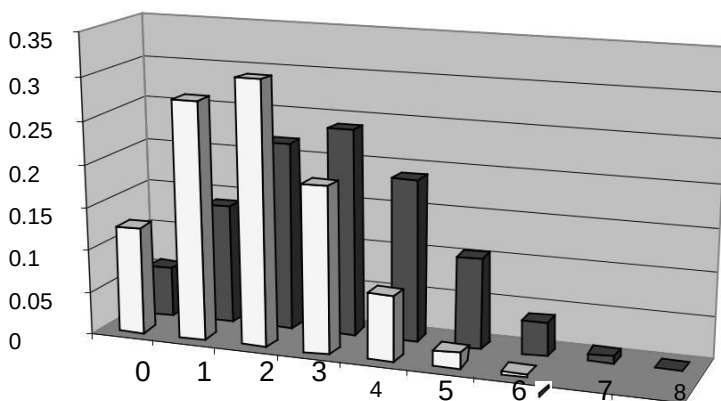


Рисунок 8.14. Распределения вероятности количества погрузчиков в неудаче, определенной моделью Марианович (светлый цвет) и рандомизированной моделью Марианович (темный цвет) для данной системы.

- Ограниченное распределение вероятности количества грузовиков в ремонте:

$$P_0^{(n)} = 0.058 \quad P_1^{(n)} = 0.139 \quad P_2^{(n)} = 0.219 \quad P_3^{(n)} = 0.24$$

$$P_4^{(n)} = 0.189 \quad P_5^{(n)} = 0.105 \quad P_6^{(n)} = 0.039 \quad P_7^{(n)} = 0.009 \quad P_8^{(n)} = 0.001$$

- Среднее количество погрузчиков в состоянии работы - приблизительно 5,05, с 2,88 в неудаче и 0.7 в запасе.

Оба распределения вероятности количества погрузчиков в неудаче показывают на рисунке 8.14.

Вспомните, предположение было сделано этим нет никакой очереди неудавшихся машин, ждущих ремонта.

Рассмотрение рисунка 8.14, легко видеть, что рандомизация заставила распределение вероятности становиться более плоским и масса вероятности, которая будет перемещена немного далеко от нуля.

Сравните теперь системную продукцию на основе вышеупомянутых распределений вероятности:

- для постоянного установившегося наличия погрузчиков (никакая рандомизация) ежедневная производительность повышена к 36 650 м³
- для установившегося наличия погрузчиков, которые рассматривают как случайную переменную, ежедневная производительность увеличенный до 36 230 м³.

Результаты, достигнутые здесь, требуют некоторых комментариев. Делая некоторые обобщения и анализируя полученные результаты, мы можем сделать следующие заявления.

- Обычно, если данную детерминированную стоимость рассматривают как случайную переменную, неуверенность в выводе на основе его увеличения.

- Если предполагается, что установившееся наличие погрузчиков - случайная переменная, производительность системы погрузчика, как часто оценивается, ниже, чем оцененный под предположением, что установившаяся доступность - детерминированная стоимость, даже когда соглашение сделано этим, наличие погрузчиков выше определенного уровня (если этот уровень не действительно очень высок).

- Если предусмотренный минимальный уровень доступности оценен высоко, масса вероятности, которая отключена, растёт, и этим нельзя пренебречь; однако, если другие системные параметры остаются неизменными, предполагаемые системные увеличения производительности.

- Детерминированный подход дает более высокую стоимость для количества машин в состоянии работы и нижнем значении для машин в неудаче, обоих по сравнению с рандомизированным подходом, в среднем.

- Чем меньше количество машин в системе, тем меньше различие между ежедневной продукцией, оцененной, используя оба подхода.

- Чем больше машин в запасе, тем меньше различие между ежедневной продукцией, оцененной, используя оба подхода.

- Если есть большая неуверенность по поводу установившегося наличия машины (то есть, больше, чем ее стандартное отклонение), есть большее различие между ежедневной продукцией, оцененной, используя оба подхода.

Обычно рандомизация — такой как в случае, который рассматривают в Примере 8.6 — означает, что соображения становятся более осторожными, возможно, недооценивая реальные системные успехи и, возможно, это - не очень плохой подход.

В некоторых случаях, когда производство машин имеет очень высокое качество, что означает, что есть маленькая дисперсия доступности, распределение вероятности эмпирической установившейся доступности может быть приближено нормальным распределением, которому определили местонахождение общей массы около средней стоимости.

8.10 МОДЕЛЬ G/G/k/г ДЛЯ СИТУАЦИИ С ИНТЕНСИВНЫМ ВИЖЕНИЕМ

Эта модель обычно известна как модель Сивэзлизна и Вана после теории, разработанной этими авторами (1988, 1989). Это - более общая модель, чем классическая проблема ремонтника (Глава 8.3), потому что это предполагает, что машины в запасе могут также выйти из строя.

В этой модели есть одно ограничение. Ситуация с эксплуатацией в системе должна выполнять так называемую *ситуацию с интенсивным движением*. Это

позволяет описание системы, используя метод приближения распространения, которое основано на предположении, что очереди неудавшихся машин в ремонтной мастерской почти всегда непусты. Если это условие выполнено, можно заменить дискретный тип процесса очереди с теми из непрерывного процесса типа. Это изменение должно быть сделано таким способом, которым не будут потеряны особенности оригинального процесса. В отличие от дискретного пространства, функции, писавшиеся непрерывно, могут изменяться, чтобы дать интересные особенности. Полученный результат тогда передан дискретному пространству, и решение может быть представлено в явной форме.

Многие точные решения стоящих в очереди проблем с межвременем прибытия или сервисным распределением времен общего типа не были найдены. Чрезвычайно трудно получить явные уравнения, такие как установившаяся функция массы вероятности и среднее из количества прибытия в систему, для $G/G/k/r$ стоящая в очереди система.

$G/G/k/r$ система характеризуется следующим образом.

Система $m + r$ гомогенные машины дана. Целых m единицы могут работать одновременно параллельно (см. Главу 6). Размер запаса - r машины, но эти запчасти - тепло-резервные единицы.

Резервный компонент называют теплым резервом или слегка нагруженным если его интенсивность неудач

- отличное от нуля, но меньше, чем интенсивность неудач операционной единицы δ , $0 < \alpha < \delta$. Для $\alpha = 0$ запас становится холодным (разгруженный), и для $\alpha = \delta$ это становится горячим (полностью загруженный). Ремонт сделан с интенсивностью γ .

Предполагается, что распределение вероятности рабочих времен - общее (G), распределение вероятности времен к машинному отказу в запасе общее (G), и распределение вероятности времен ремонта также общее (G). Интенсивность переходов между состояниями α , γ , и δ известна.

Кроме того, три классических предположения о системах очереди, перечисленных ранее (в Главе 8.7), остаются действительными.

Рисунок 8.15 показывает графическое представление модели $G/G/k/r$.

Используя применение приближения распространения найти массовую функцию вероятности количества неудавшихся машин, Сивэзлиэн и Ван пришли к выводу это три пары

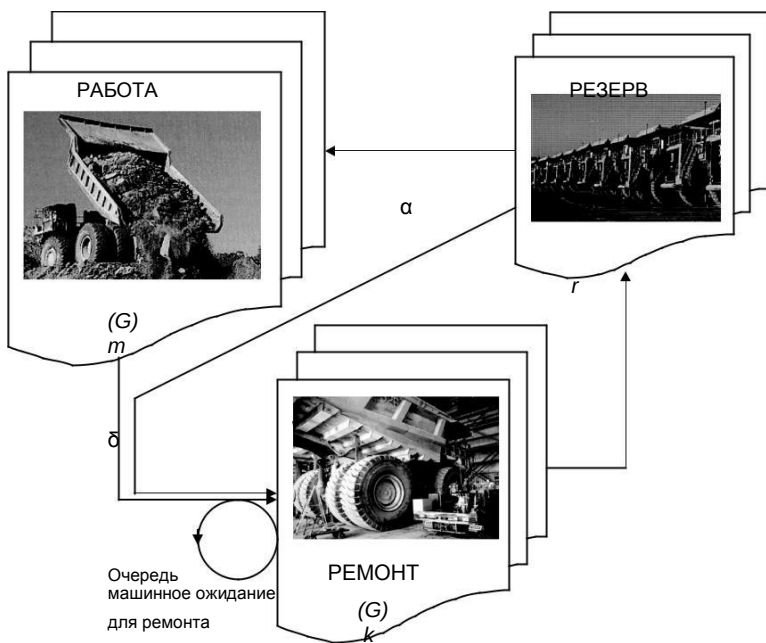


Рисунок 8.15. Операционная схема $G/G/k/r$ системы.

статистические параметры необходимы. Кроме названной интенсивности α , γ , и δ , должны быть известны следующие стандартные отклонения:

- σ_p стандартное отклонение рабочих времен
- σ_s стандартное отклонение времен, которые машина провела в запасе до момента, когда неудача произошла
- σ_n стандартное отклонение времен ремонта.

После преобразования от дискретного пространства до непрерывного функция, которую мы ищем, является плотностью распределения вероятности $h(x)$ из количества неудавшихся машин.

Давайте обозначим:

$$C_M = (\delta\sigma_p)^2 \quad C_S = (\alpha\sigma_s)^2 \quad C_R = (\gamma\sigma_n)^2 \quad (8.35)$$

и

$$\xi = \delta/\gamma \quad \theta = \alpha/\gamma \quad (8.36)$$

Параметры C_M , C_S и C_R - квадратные коэффициенты изменения последовательности продолжительностей работы рабочих машин, продолжительностей работы запасных машин и времена ремонта, соответственно. Все эти параметры безразмерные.

Параметры ξ и θ являются частотой ремонтов для машин в состоянии работы и в запасе. Они также безразмерные.

Исследуемая система может быть описана следующим способом:

$$\mathfrak{S}: < \mathfrak{M}: m \geq 1, b = 1, 2, \dots, m; \lambda, \sigma_M^2; r \geq 0, i = 0, 1, \dots, r, \alpha, \sigma_S^2; \mathfrak{C}: k \geq 1, \mu, \sigma_R^2 > \quad (8.37)$$

Плотность распределения вероятности количества неудавшихся машин x в системе, выраженной как непрерывная функция $h(x)$, является суммой трех компонентов. Они определены следующим образом.

- Поскольку запас не ниже, чем количество ремонта стоит, $k \leq r$ для $0 \leq x < k$

$$h_1(x) = \frac{K_1}{m\xi C_M + (r-x)\theta C_S + xC_R} \left(\frac{m\xi C_M + (r-x)\theta C_S + xC_R}{m\xi C_M + r\theta C_S} \right)^{\beta_1} \times \exp\left(\frac{-2(\theta+1)x}{C_R - \theta C_S}\right) \text{ for } C_R - \theta C_S \neq 0,$$

$$h_1(x) = \frac{K_1}{m\xi C_M + r\theta C_S} \exp\left(\frac{2(m\xi + r\theta)x}{m\xi C_M + r\theta C_S} - \frac{(\theta+1)x^2}{m\xi C_R + r\theta C_S}\right) \text{ for } C_R - \theta C_S = 0 \quad (8.38a)$$

для $k \leq x \leq r$

$$h_2(x) = \frac{K_2}{m\xi C_M + (r-x)\theta C_S + kC_R} \left(\frac{m\xi C_M + (r-x)\theta C_S + kC_R}{m\xi C_M + (r-k)\theta C_S + kC_R} \right)^{\beta_2} \exp\left(\frac{2(x-k)}{C_S}\right) \text{ for } C_S > 0$$

$$h_2(x) = \frac{K_2}{m\xi C_M + kC_R} \exp\left(\frac{2(m\xi - k)(x-k)}{m\xi C_M + kC_R}\right) \text{ for } C_S = 0 \quad (8.38b)$$

для $r \leq x \leq m+r$

$$h_3(x) = \frac{K_3}{(m+r-x)\xi C_M + kC_R} \left(\frac{(m+r-x)\xi C_M + kC_R}{m\xi C_M + kC_R} \right)^{\beta_3} \exp(2(x-r)/C_M) \text{ for } C_M > 0$$

$$h_3(x) = \frac{K_3}{kC_R} \exp\left(\frac{2(m\xi + r\xi - k)(x-r)}{kC_R} - \frac{\xi(x^2 - r^2)}{kC_R}\right) \text{ for } C_M = 0 \quad (8.38c)$$

где:

$$\beta_1 = \frac{2m\xi[C_R - \theta C_S + (\theta+1)C_M] + 2r\theta[C_R - \theta C_S + (\theta+1)C_S]}{(C_R - \theta C_S)^2}$$

$$\beta_2 = \frac{2m\xi[1 - (C_M/C_S)] - 2k[1 + (C_R/C_S)]}{\theta C_S} \quad \beta_3 = \frac{2k[1 + (C_R/C_M)]}{\xi C_M} \quad (8.38d)$$

- Поскольку запас ниже, чем количество ремонта стоит, $r < k$

$$\begin{aligned} \text{для } 0 \leq x < r \quad h_4(x) &= h_1(x) \\ \text{для } r \leq x \leq k \end{aligned} \quad (8.39a)$$

$$\begin{aligned} h_5(x) &= \frac{K_5}{(m+r-x)\xi C_M + xC_R} \left(\frac{(m+r-x)\xi C_M + xC_R}{m\xi C_M + rC_R} \right)^{\beta_5} \\ &\times \exp\left(\frac{2(\xi+1)(x-r)}{\xi C_M - C_R}\right) \quad \text{for } \kappa C_M - C_R \neq 0 \end{aligned}$$

$$h_5(x) = \frac{K_5}{(m+r)\xi C_M} \exp\left(\frac{2(x-r)}{C_M} - \frac{(\xi+1)(x^2-r^2)}{(m+r)\xi C_M}\right) \quad \text{for } \kappa C_M - C_R = 0 \quad (8.39b)$$

для $k \leq x \leq m+r$

$$h_6(x) = \frac{K_6}{(m+r-x)\xi C_M + kC_R} \left(\frac{(m+r-x)\xi C_M + kC_R}{(m+r-k)\xi C_M + kC_R} \right)^{\beta_5} \exp(2(x-k)/C_M) \quad \text{for } C_M > 0$$

$$h_6(x) = \frac{K_6}{kC_R} \exp\left(\frac{2(m\xi + r\xi - k)(x-k)}{kC_R} - \frac{\xi(x^2 - k^2)}{kC_R}\right) \quad \text{for } C_M = 0 \quad (8.39c)$$

где:

$$\beta_5 = \frac{2(m+r)\xi(C_R + C_M)}{(C_R - \kappa C_M)^2} \quad (8.39d)$$

Плотность распределения вероятности $h(x)$ из количества неудавшихся машин определена формулой:

$$h(x) = \begin{cases} h_1(x) + h_2(x) + h_3(x) = K_1 g_1(x) + K_2 g_2(x) + K_3 g_3(x) & \text{for } k \leq r \\ h_4(x) + h_5(x) + h_6(x) = K_4 g_4(x) + K_5 g_5(x) + K_6 g_6(x) & \text{for } k > r \end{cases} \quad \begin{matrix} (8.40a) \\ (8.40b) \end{matrix}$$

Неизвестные константы K_j , $j = 1, 2, \dots, 6$ используюсь в создании функций 8.38 и 8.39.

Поэтому необходимо построить шесть уравнений, которые позволяют этим константам быть определенными.

Функция $h(x)$ должна выполнить два условия.

Первый - нормализация массы вероятности к единству.

Таким образом:

$$\int_0^{m+r} h(x)dx = K_1 \int_0^k g_1(x)dx + K_2 \int_k^r g_2(x)dx + K_3 \int_r^{m+r} g_3(x)dx = 1$$

$$\int_0^{m+r} h(x)dx = K_4 \int_0^r g_4(x)dx + K_5 \int_r^k g_5(x)dx + K_6 \int_k^{m+r} g_6(x)dx = 1 \quad (8.41)$$

Второе условие принимает непрерывность $h(x)$. Следующие уравнения тогда держатся:

$$K_1 g_1(k) = K_2 g_2(k) \quad \text{and} \quad K_2 g_2(r) = K_3 g_3(r)$$

$$K_4 g_4(r) = K_5 g_5(r) \quad \text{and} \quad K_5 g_5(k) = K_6 g_6(k) \quad (8.42)$$

Прежде чем мы преобразуем эти функции в дискретное пространство (количество неудавшихся машин - часть набора натуральных чисел плюс ноль), это достойно рассмотрения два случая.

Первый случай когда $C_M = 0$. Этот случай был результатом во время математического анализа. Давайте переведем его на технический язык: это означает, что соответствующее стандартное отклонение рабочих времен машин - ноль. Это не держится на практике. Поэтому этот случай будет исключен из дальнейших исследований.

Второй случай - предположение, что машины в запасе могут выйти из строя. К счастью, это - редкое возникновение. Даже если такие события могут иногда иметь место, значение соответствующей интенсивности неудач очень маленькое. Мы можем проигнорировать его, и поэтому мы далее принимаем это $\alpha = 0$.

Теперь, мы возвращаемся к нашей процедуре, и мы получим соответствующую функцию в дискретном космосе. Есть несколько различных методов дискретизации. Мы повторяем здесь процедуру, предложенную Сивэзлизном и Ваном после Хэлэчми и Фрэнты (1978) предложение. Согласно этой процедуре, установившиеся вероятности P_j , $j = 0, 1, \dots, m + r$ даны следующим набором формул:

$$P_j = \int_{j-0.5}^{j+0.5} h(x)dx, \text{ for } j = 1, 2, \dots, m+r-1$$

$$P_0 = \int_0^{0.5} h(x)dx \text{ and } P_{m+r} = \int_{m+r-0.5}^{m+r} h(x)dx \quad (8.43)$$

где P_j - вероятность это j подведенные машины.

Однако используя эти формулы необходимо обратить особое внимание на пределы определения конкретных функций $h(x)$.

Чтобы закрыть наше обсуждение, для заключительной проблемы нужно наше внимание. Это - критерий, который должен быть выполнен, чтобы утвердить действие системы при условии интенсивного движения.

Первая идея состоит в том, что вероятность, что ремонтная мастерская пуста, должна быть маленькой. Это условие непрактично. Наша станция технического обслуживания обладает k , стоит, и ситуация с интенсивным движением требует занятия большинства этих единиц почти непрерывно. Давайте выразим это условие посредством системных параметров. По данным Халачми и Франта (1978) решающий фактор - выполнение следующего неравенства:

$$\rho = \frac{\Lambda}{k\gamma} \geq 0.75 \quad (8.44)$$

где Λ - интенсивность прибытия в станцию технического обслуживания, и ρ - коэффициент интенсивности потока в станции (см., например, Гросса и Харриса 1974). Стоит отметить здесь, что у этого условия нет точного значения. Было указано, что, если коэффициент имеет тенденцию уменьшаться ниже 0.75, оценка вероятностей, данных уравнением 8.43, становится более плохой. Давайте закончим, отмечая, что коэффициент интенсивности потока в станции технического обслуживания должен также выполнить неравенство:

$$\rho < 1 \quad (8.45)$$

что означает, что интенсивность прибытия в сервисную систему должна быть меньше, чем интенсивность обслуживания в системе. Если ρ будет заметно выше 1, то почти постоянная очередь будет наблюдаться, клиенты будут неудовлетворены, и проблема будет неизбежна.

Давайте определим некоторые параметры базовой системы.

- Ожидаемое количество машин в неудаче:

$$\begin{aligned}
 E(X) &= K_1 \int_0^k x g_1(x) dx + K_2 \int_k^r x g_2(x) dx + K_3 \int_r^{m+r} x g_3(x) dx \quad \text{for } k \leq r \\
 E(X) &= K_4 \int_0^r x g_4(x) dx + K_5 \int_r^k x g_5(x) dx + K_6 \int_k^{m+r} x g_6(x) dx \quad \text{for } r < k
 \end{aligned} \tag{8.46}$$

- Ожидаемое количество занятых стендов ремонта:

$$\begin{aligned}
 E(B) &= k - \int_0^k (k-x) K_1 g_1(x) dx \quad \text{for } k \leq r \\
 E(B) &= k - \int_0^r (k-x) K_4 g_4(x) dx - \int_r^k (k-x) K_5 g_5(x) dx \quad \text{for } r < k
 \end{aligned} \tag{8.47}$$

- Ожидаемое количество машин в состоянии работы:

$$E(Y) = m \sum_{n=1}^r (P_0 + P_n) + \sum_{n=r+1}^{m+r-1} (m+r-n) P_n \tag{8.48}$$

Пример 8.7

Есть система оборудования, состоящая из $m = 30$ машин предписали работать и с r машинами в запасе. Залив обслуживания находится в процессе строительства, и количество ремонта стоит, k еще не был наконец решен. Машинные параметры известны, и они следующие:

- среднее время работы составляет 18 ч
- стандартное отклонение рабочих времен составляет 15 ч
- среднее время ремонта составляет 4,5 ч
- стандартное отклонение времен ремонта составляет 2,5 ч.

Анализ системы должен быть сделан, полагая, что различное количество ремонта стоит и различное количество запасных единиц. Операционную схему показывают на рисунке 8.16.

Заметьте в самом начале анализа системы, что установившаяся доступность машин в системе 0.8.

Предполагалось, что количество стендов ремонта должно быть больше, чем количество машин в запасе, $k > r$ (который рекомендуется). Поэтому формулы 8.39 были применены.

Во-первых, много машин в запасе был принят, и следующие системные параметры были вычислены:

- ожидаемое количество машин в неудаче $E(X)$
- ожидаемое количество занятого ремонта выдерживает $E(B)$
- ожидаемое количество машин в штате работы $E(Y)$.

Кроме того, оценка коэффициента интенсивности потока в системе была сделана при помощи формулы:

$$\rho_s = \frac{m}{k} \xi \quad (8.49)$$

Вспомните, если $\rho_s > 1$ вероятно, что будет наблюдаться постоянная очередь неудавшихся машин, ждущих ремонта. Если $\rho_s < 0.75$ условие интенсивного движения не выполнен, делая оценку системных параметров низкой вероятности.

Предполагалось в начале анализа, что запасной размер будет $r = 5$, и k изменится от 6 до 9.

Рисунок 8.17 иллюстрирует результаты вычислений математических ожиданий, и рисунок 8.18 показывает курс коэффициента ρ интенсивности потока в ремонтную мастерскую.

Результаты вычислений интересны. На рисунке 8.17 все параметры склоняются отчетливо к их ограниченным ценностям. Среднее количество машин в штате работы Э (Y) склоняется к 28, который очевиден потому что $(m + r) = 28$. Обращая наше внимание к недостатку машины, мы имеем $(m + r) (1 - A) = 7$, и это - предел к который оба среднее количество машин в

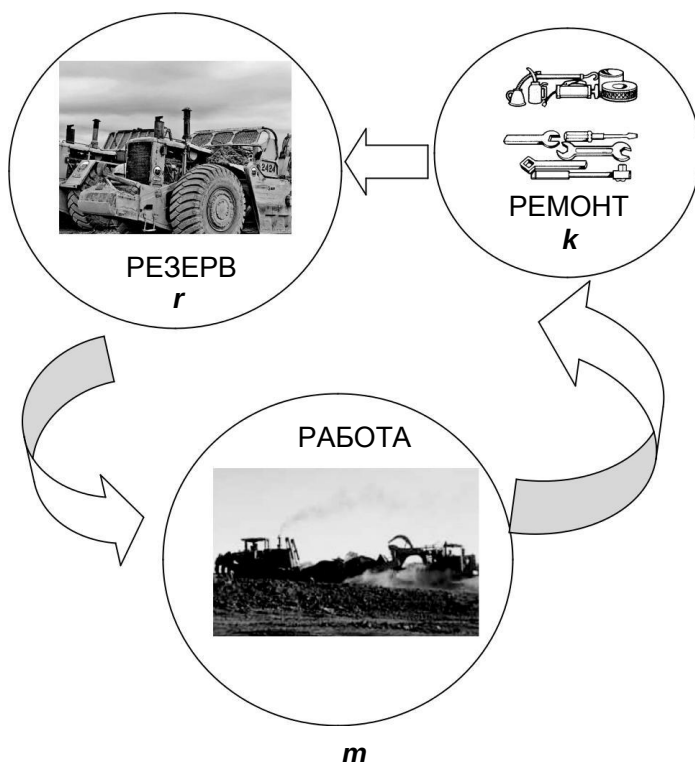
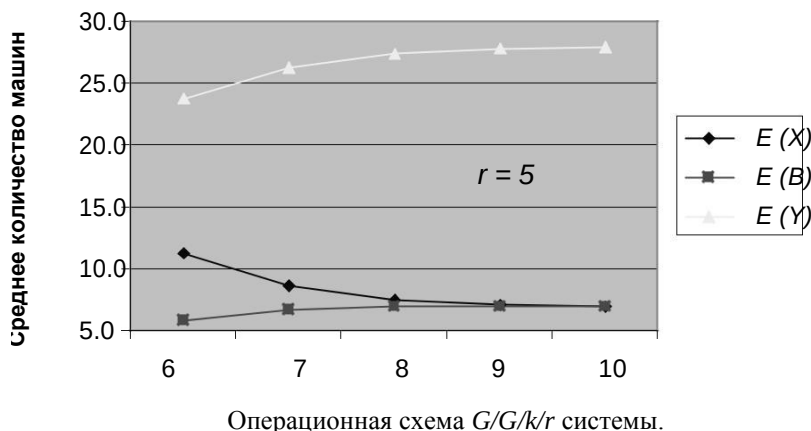


Рисунок 8.16.



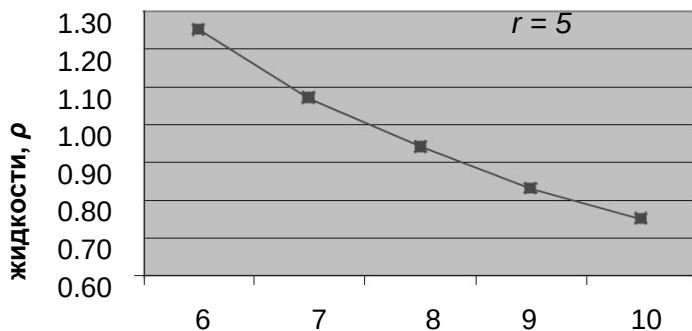
Количество ремонта стоит, k

Рисунок 8.17. Отношения между количеством ремонта выдерживают k и среднее количество машин в неудаче $E(X)$, среднее количество занятого ремонта выдерживает $E(B)$ и среднее количество машин в штате работы $E(Y)$ для $r = 5$. еудача $E(X)$ и среднее количество занятого ремонта стоят, $E(B)$ бегут. Поскольку много ремонта выдерживают $k = 10$, ситуация в системе стабилизирована.

Смотря на рисунок 8.18 в свою очередь, мы можем заявить, что для системы $m = 30$ и $r = 5$ количество ремонта стоит, k не должен быть меньше чем 8, потому что для меньшего числа почти постоянная очередь неудавшихся машин, ждущих ремонта, будет неизбежна. С другой стороны, для $k > 10$, ситуация в ремонтной мастерской становится удобной — нет никакой ситуации с интенсивным движением. Однако если так, оценки, полученные из модели Сивэззлиэна и Вана, окажутся более низкой вероятности.

Давайте теперь полагать, что система $m = 30$ машин предписала работать, и ремонтная мастерская только с $k = 10$ ремонта стоит и по которому варьируется количество единиц в холодном запасе. Предположите что $r = 0, 1, \dots, 9$ (потому что $r < k$). Рисунок 8.19 иллюстрирует результаты вычислений среднего количества машин в неудаче $E(X)$, и среднее количество занятого ремонта выдерживает $E(B)$ за случай, который рассматривают.

Информация, содержащаяся в рисунке 8.19, экстраординарна. Для небольших чисел машин в запасе увеличение обеих функций идентично, и они постоянно бегут вдоль прямой линии. Для большего числа запасных единиц разделяются функции; среднее количество машин в увеличениях неудачи немного более интенсивным способом, чем среднее количество занятого ремонта стоит. На первый взгляд трудно найти причину такой регулярности. Однако стоит заметить это когда среднее число количество неудавшихся машинных увеличений, средняя



Количество ремонта стоит, k

Рисунок 8.18. Отношения между количеством ремонта выдерживают k и коэффициент ρ интенсивности потока в ремонтную мастерскую.

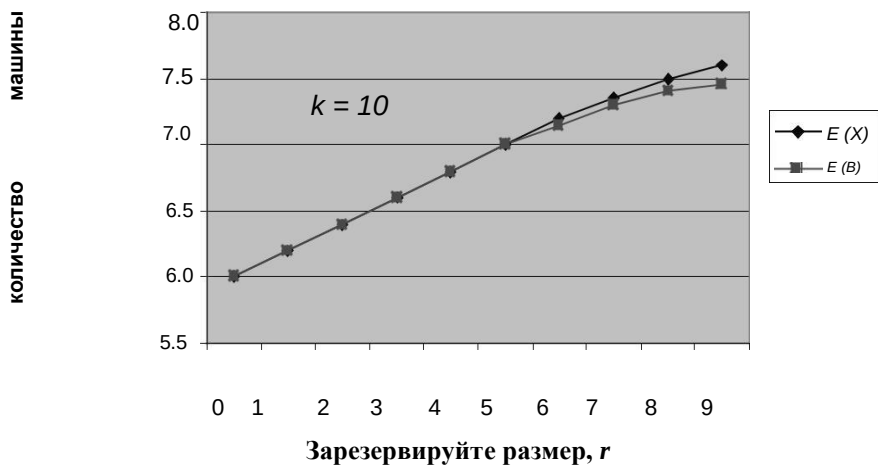


Рисунок 8.19. Отношения между запасным размером r и средним количеством машин в неудаче $E(X)$, среднее количество занятого ремонта выдерживает $E(B)$ за $k = 10$.

очередь неудавшихся единиц, ждущих ремонта, стоящего перед ремонтной мастерской также, увеличиваются. Давайте посмотрим на условное среднее время неудавшегося грузовика, ждущего ремонта относительно запасного размера r , вычисленный от формулы:

$$T_o = T_n \sum_{j=k+1}^{m+r} (j-k) \int_{j-0,5}^{j+0,5} K_6 g_6(x) dx \quad (8.50)$$

Эти отношения показывают на рисунке 8.20.

Кажется, что просто это увеличение вовремя вызвало расхождение обеих функций.

Взгляд теперь на рисунок 8.21, который иллюстрирует отношения между количеством машин в запасе r и средним количеством машин в состоянии работы, $\bar{X}$ ($\bar{u}$). Сопоставляя к случаю функций $E(X)$ и $E(B)$ против r , среднего количества единиц в состоянии работы, увеличивается линейно для небольшого количества машин в запасе. Когда количество запасных увеличений единиц выше 5 этих функций растет менее интенсивным способом, и скорость этого увеличения медленно понижается. Очевидно, эта функция склоняется к ограниченной стоимости, которая является $m = 30$ машин.

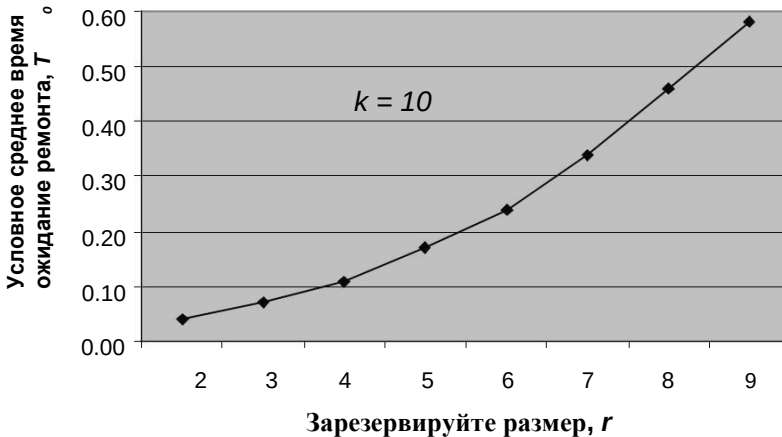


Рисунок 8.20. Отношения между запасным размером r и условное среднее время T_o неудавшейся машины, ждущей бесплатного ремонта, стоят.

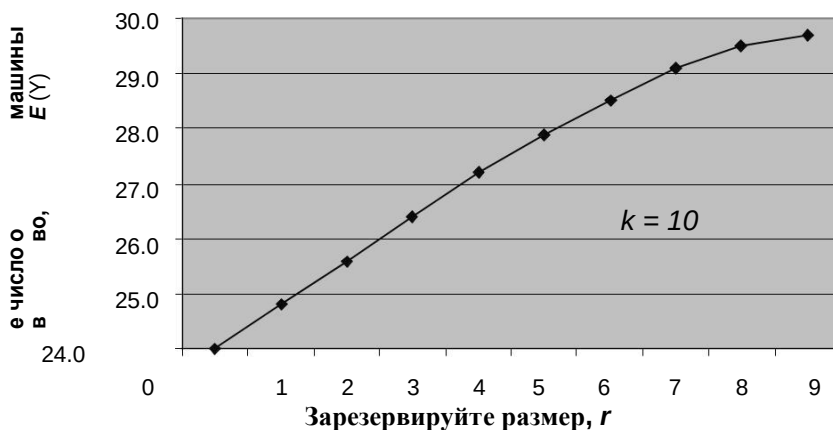


Рисунок 8.21. Отношения между запасным размером r и средним количеством машин в штате работы $\Xi(Y)$ для $k = 10$

Напомним, количество станков ремонта должно быть приблизительно 8 - 10 единицами. Очевидно, чем больше количество этих станков, тем более удобной ситуация с обслуживанием становится. Кроме того, техническая схема обзора этих машин должна быть принята во внимание прежде, чем увеличить это число. Если запасной размер рассматривают, r должен быть приблизительно 5 машинами. Это ясно из рассмотрения системных параметров, что, когда количество запасных единиц начинает расти с нуля, производительность системы увеличивается отчетливо. Для дальнейших увеличений размера запаса преимущество становится меньшим.

Все эти расследования проводятся, пренебрегая чрезвычайно важным аспектом системной эксплуатации — доходность. Финансовые параметры и их отношения могут изменить результаты, полученные существенно. Поэтому экономический аспект действия системы нужно рассмотреть, используя отношения эксплуатации, полученные во время анализа. Таким образом аналитические соображения должны быть проведены сначала. Их результаты - соответствующие инструменты, с которыми можно провести экономический анализ. ◀

ГЛАВА 9

Объединенные системы

В наших предыдущих исследованиях все системы были гомогенными с функциональной точки зрения. Эти системы были или непрерывными или циклическими. Однако в исследовании циклических систем только тех, которые удобны, чтобы проанализировать, применяя модели теории очереди, рассмотрели. Тем не менее, есть некоторые системы в горной промышленности, которые не являются гомогенными; одна часть непрерывна, и другой - циклический, или *напротив*.¹ Это не может быть исключено, что у некоторых систем в будущем будет смешанная структура — в данной системе могли бы быть циклические и непрерывные подсистемы или циклические-и-циклические подсистемы; у этих циклических элементов будут существенно отличающиеся свойства. Примером такой будущей системы могла быть обычная циклическая система уничтожения-и-погрузки плюс система буксирующих единиц типа пропуска, которые имеют их собственный толчок и путешествуют один за другим по пути стойки горизонтально, а также вертикально в шахтах (Пеплер 1989, Чаплицкий и др. 1990). Пример циклической-и-циклической системы мог быть — снова, возможно, в будущем — система грузовика совка и наклонный подъем типа TruckLift, работающего с основной системой перевозки в яме. Эта последняя система будет пунктом анализа здесь.

Мы начинаем наше исследование с системы грузовика совка и в яме сокрушительный.

9.1 СИСТЕМА ЛОПАТНО-ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И ДРОБЛЕНИЕ В КАРЬЕРЕ.

Это - известное то, что системы грузовика совка, обычно применяемые в открытых горных работах, очень дорогие, особенно где эксплуатационная стоимость затронута. Это было оценено (Вудро 1992, Бозогобрахими и др. 2003), что стоимость погрузки и перевозки составляет приблизительно 60-65% совокупных эксплуатационных расходов открытых горных работ, и одна только стоимость перевозки составляет приблизительно 40-50% совокупных эксплуатационных расходов (Ван и Чжао 1997, Вудро 1992). Некоторые исследователи имеют мнение, что это последнее число, как раз когда высокий как 60% (Фабиан 1989). По этим причинам каждое суждение, чтобы уменьшить эти затраты приветствуется и тщательно проанализировано.

В наше время есть две возможности изменить систему грузовика совка таким способом как, чтобы уменьшить эти огромные расходы,² а именно:

- применяться в яме сокрушительный и передающий

- применять наклоненный подъем типа лифта грузовика.



• В некоторых случаях неоднородность системы оборудования вызвана различными размерами машин, выполняющих идентичные обязанности, но в математическом моделировании этого увеличивается, дисперсия решительных случайных переменных — см. Главу 10.

• Различная возможность сократить издержки является применением тележки, помогают системе, если это прибыльное, но это считается улучшением системы, не модификацией.

Первое суждение было известно в течение многих лет и было применено успешно в нескольких случаях во всем мире. Возможно, самая популярная система этого типа - та, используемая в Карьере Каньона Бингхэма, США. В 1980 управление этой шахтой пришло к заключению, что модернизация транспортной системы руды требовалась, чтобы уменьшить затраты. Это было необходимо, чтобы выжить из-за сниженной медной стоимости в то время. Старая транспортировка поезда была наконец забрана, и система грузовика была введена. Чтобы уменьшить расходы, концепция проекта была введена в сокрушительную и передающую систему в яме в 1984-85. В 1988 полная система была в действии (Каммерер 1988).

Последнее предложение (b) еще не использовалось несмотря на то, что этот тип подъема был продвинут интенсивно несколько лет назад в главных журналах горной промышленности и в Интернете. Эта система будет обсуждена позже.

Давайте теперь рассмотрим проблему того, как проанализировать систему грузовика совка с дробилкой в яме и подсистемой передачи, предоставляющей сокрушенный минерал обогатительной фабрике. Различная версия такой системы может быть подсистемой грузовика совка с дробилкой в яме плюс сокрушенная поставка подсистемы передачи, перегружают к подсистеме распоряжения (Колония и др. 2003). Давайте обозначим систему этого типа S T C S.

Проблема может быть сформулирована следующим образом. Давайте предположим, что есть карьер, в котором в действии система оборудования грузовика совка. Поэтому количество рабочих машин и их главных параметров эксплуатации известно. Управление шахтой решило изменить

систему перевозки, применив дробилку в яме и систему конвейеров пояса, чтобы поставить сокрушенную руду периферийному отделению обогащательной фабрики. Проблема состоит в том, как проектировать этот новый компонент системы оборудования и обнаружить, какие виды изменений будут замечены в 'старой' системе.

Прежде чем эта проблема описана в математической форме и проводимом анализе, один пункт должен быть указан заранее. Чтобы оценить систему этого вида, процедура вычисления систем грузовика совка, представленных в монографии Чаплицкий (2009), будет применена. На определенном этапе этой процедуры принята во внимание доступность грузовиков, и количество грузовиков, необходимых для системы, увеличено так называемыми 'избыточными' единицами. Эти откатчики заполняют промежуток, вызванный необходимой заправкой грузовика, разрывами водителей, заменой водителей, технических обзоров, и т.д. Все эти 'предприятия' поглощают грузовики, подразумевая, что в среднем определенное число откатчиков 'не существует' для выполнения задачи транспортировки. Чтобы смягчить эту 'потерю', избыточные единицы применены. Эти грузовики не рассматривают в дальнейшей части процедуры вычисления кроме в оценке требований ремонтной мастерской. Мы предполагаем здесь — чтобы сделать наши соображения более простыми и более коммуникативными — что в S T C S система количество стендов в ремонтной мастерской рационально отобрано и, поэтому, и избыточные грузовики и стенды ремонта будут исключены из дальнейшего анализа.

Давайте сформулируем проблему, которая будет исследована математическим способом.

У нас есть система (см. рисунок 9.1):

$\mathcal{S} : \langle \mathcal{S} = {}_w\mathcal{U}_o : n = n_w + n_o, A_k; {}_{\mathcal{W}}\mathcal{A}_w; Q; \mathcal{S} = 1, 2, \dots, m; r \mathcal{C} : k \rangle$, для которого параметры эксплуатации:

$$\mathcal{P} \mathcal{S} \mathcal{D} : \langle B_k, Z', T_t, T_{dp}; t \rangle$$

Давайте прочитаем примечание.

Система $\mathcal{S}$ совков власти $\mathcal{S}$ состоит из n машин с установившейся доступностью A_k , где n_w отходы груза единиц (набор) $_w$ и n_o единицы загружают руду (набор) $_o$. Система самосвалов $\mathcal{W}$ полезного груза Q состоит из m обязанностей перевозки выполнения грузовиков, и r единицы находятся в запасе 3

- Подразделение парка грузовиков в две подсистемы, скажем, m грузовики предписало работать, и r единицы в запасе важно только для вычислений. На практике оба этих числа - случайные переменные в любой данный момент действия системы. Единственное точное заявление - то, что сумма этих переменных всегда постоянная и то же. Исключение к этому последнему правилу - когда новые грузовики прибывают в систему, или некоторые грузовики наконец отзываны из дальнейшей операции.

новый компонент должен стать частью системы, одна часть маршрута грузовика будет строго определена: все грузовики, загруженные сломанной рудой, будут всегда направляться к дробилке.

Мы предполагаем, что система была рационально отобрана (см., например, Главу 8 монографии автора 2009), который является структурными параметрами системы $\langle m, r, k \rangle$ были выбраны надлежащим способом. Установка новой предложенной подсистемы не имеет никакого непосредственного значения к системе погрузки машин. Система грузовиков — в свою очередь — разделена на две подсистемы, но *стохастическим способом*. Это строго не приписано, что данный грузовик только связан с перевозкой данного типа материала. Иногда грузовик будет транспортировать отходы, и иногда руду. Тем не менее, мы предполагаем, что система откатчиков разделена на две подсистемы *численно* — определенное число грузовиков будет на среднем числе служить машинам погрузки руды, и определенное число в среднем будет служить машинам, загружающим отходы. Поскольку целая система грузовика была разработана для более долгих расстояний и имеет m единицы, мы на самом деле должны повторно вычислить эту систему с начала.

Заявление ‘более долгие расстояния’ содержит информацию, что оригинальный средний грузовик путешествует на расстояние от машины погрузки до разгружающегося пункта, теперь уменьшен из-за существования дробилки; нет никакой потребности в откатчиках повыситься яма, чтобы поставить сокрушенную руду отделению обогащательной фабрики.

Таким образом мы предполагаем, что m_w грузовики буксируют отходы на среднем числе, и m_o единицы буксируют руду к дробилке в яме в среднем. Мы, очевидно, ожидаем это для новой системы $m_w + m_o < m$. В новой системе размер запаса - $r_n = r_w + r_o$, и прогноз - это $r_n < r$. Поэтому ремонтная мастерская не будет так же в большой степени загружена как прежде.

Чтобы проектировать, проанализируйте и вычислите измененную систему, нам нужна информация о следующих шести параметрах:

- $T_{tc}, c, A_{cr}, B_{cr}, A_c, u_{com} >$

где:

T_{tc} – среднее время путешествия на грузовике, обслуживающего дробилку
 c – количество грузовиков, которые могут разгрузиться одновременно в дробилку_{cr} – установившаяся доступность дробилки

B_{cr} – коэффициент доступности дробилки

A_c – установившееся наличие конвейера

u – довод «против» количество конвейеров использовало соединение выхода дробилки с периферийным отделением обогащательной фабрики.

аметьте, что информация о ценности с означает, что с полезные грузы грузовика могут быть поставлены вовремя $T_{разность потенциалов}$ дробилке без

любой дроссельной катушки 4 Таким образом, отношения между полезным грузом грузовика, среднее время свалки и способностью дробилки должны быть рационально подобраны. Процедура анализа и вычисления системы может быть выполнена согласно следующей схеме 5

- Строительство распределения вероятности количества руды сгребает состояние работы.
- Вычисление среднего времени погрузки принятия во внимание экономит погрузчики — все для системы руды.
- Перерасчет целой системы S T C C рассмотрение грузовиков.
- Проверка темпа интенсивности потока в системе погрузки машин.

Дальнейшая часть моделирования, анализа и схемы вычисления будет касаться системы руды исключительно — то есть, подсистема грузовика и непрерывная система.

- Строительство распределения вероятности количества грузовиков в состоянии работы.
- Оценка распределения вероятности количества грузовиков при погрузке машин.
- Вычисление безоговорочных вероятностей системы грузовика руды; использование предположения: никакая очередь в дробилке.
- Вычисление дальнейших безоговорочных параметров системы грузовика.
- Оценка системы произведена.
- Вычисление установившейся доступности непрерывной системы.
- Оценка потенциальной сокрушительно буксирующей способности непрерывной системы.
- Строительство распределения вероятности количества грузовиков в дробилке.
- Анализ основных мер эффективности системы.
- Заключение, рекомендации и замечания.

• Однако, если во время демпинга в дробилку некоторые большие глыбы останавливают операцию, доступность дробилки сокращена. Такие явления могут быть приняты во внимание в процедуре, уменьшив коэффициент доступности дробилки.

• Эта процедура отличается немного от предложенного Чаплицкий (2008d). Этот более точен. Первый суд над вычислением системы этого типа был описан Чаплицкий (2004a).

Предполагая, что процедура моделирования, анализа и вычисления систем грузовика совка известна (монография Чаплицкий 2009) и, точно так же знакомство с соответствующей процедурой моей непрерывные системы (см.

Главу 7 здесь), мы в состоянии провести аналогичные расследования для этой объединенной системы. Однако имейте в виду, что некоторые модификации должны быть сделаны. И, кроме того, это было доказано (Чаплицкий 2008а), что каждый процесс эксплуатации системы грузовика совка - уникальный из-за динамической посылки грузовика. Есть возможность построить общую процедуру из анализа для этих типов систем, но у этого есть большая сложность, и ее ясная понятность сомнительна. Обычно, этого трудно достигнуть в правильном применении. Поэтому лучше рассмотреть каждый отдельный случай отдельно. Тем не менее, способ рассуждать может быть повторен, рассматривая различные тематические исследования.

Пример 9.1

Давайте рассмотрим, например, следующую систему оборудования:

$$\mathfrak{S} : < \mathfrak{S} = \mathfrak{S}_w \cup \mathfrak{S}_o : n_w = 5, n_o = 4, A_k = 0.870; \\ \mathfrak{W} : A_w = 0.762; Q = 120 \text{ t}; b = 1, 2, \dots, m = 142; r = 24 >$$

для которого:

$$\mathfrak{P}(\mathfrak{S}, \mathfrak{S}) : < B_k = 0.830, Z' = 1.6 \text{ мин}, T_t = 28.2 \text{ мин}, T_{dp} = 0.7 \text{ мин}; \tau = 2.6; B_w = 0.850 >$$

Дополнительные системные параметры:

$$< T_{tc} = 8.2 \text{ мин}, c = 2, A_{cr} = 0.820, B_{cr} = 0.880, A_c = 0.998, u_{con} = 5 >$$

В начале любого анализа может быть сделана быстрая приблизительная оценка системы:

- 4 грузовика могут быть загружены, сгребает 1,6 минуты, что означает 2,5 грузовика в минуту, насколько руда затронута
- 2 грузовика могут разгрузиться в дробилку в 0,7 минуты, что означает 2,85 грузовика в минуту.

1. Мы начинаем наш анализ с системы погрузки машин, которые производят несколько дискретных потоков минерала, который должен быть взят системой откатчиков. Распределение вероятности количества совков, которые в состоянии к load6, описано биномиальным распределением (см. уравнение 6.1), потому что это - система машин, работающих параллельно в чувстве надежности. Существование запасных машин погрузки должно также быть принято во внимание. Мы предполагаем, что, если какой-либо совок снижается, он немедленно заменен колесным автопогрузчиком. Кроме того, мы предполагаем, что запасной флот погрузчика достаточно большой так, чтобы, если какая-либо машина этого вида снижается, это было заменено следующим колесным автопогрузчиком незамедлительно. Если так, колесные

автопогрузчики полностью надежны с точки зрения выполнения погрузки, и поэтому все пункты погрузки полностью надежны. Но надёжность совков имеет прямое влияние на среднее время погрузки. Заметьте следующую регулярность: чем более надежные совки, тем короче среднее время погрузки и *наоборот*, который очевиден.

Давайте введем следующее примечание: $P_{kd}^{(p)}$ будет означать вероятность, что d , $d = 0, 1, \dots, n$ совки (k) находятся в состоянии работы (p). В случае, проанализированном, $n = n_o = 4$ и распределение вероятности количества сгребает состояние работы, дан следующим набором уравнений:

$$P_{kd}^{(p)} = 4 = (0.870)^4 = 0.573$$

$$P_{k}^{(p)} = 3 = 4 (0.870)^3 (1 - 0.870) = 0.342$$

• Это указано *способный загрузить*, что означает, что машина находится в работе, указывают, и находится также в состоянии доступности к погрузке. Однако это может произойти, который машина не загружает в данный момент вовремя из-за отсутствия грузовика, чтобы заполниться.

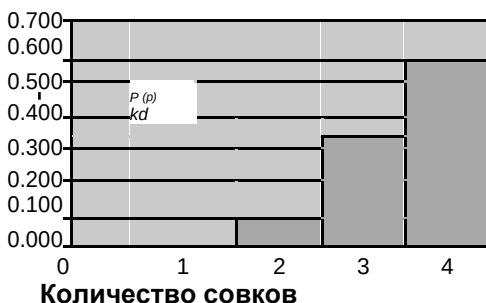


Рисунок 9.2. Распределение вероятности количества сгребает состояние работы.

$$P_{k}^{(p)} = 2 = 6 (0.870)^2 (1 - 0.870)^2 = 0.077$$

$$P_{k}^{(p)} = 1 = 4 (0.870) (1 - 0.870)^3 = 0.008$$

$$P_{k}^{(p)} = 0 = (1 - 0.870)^4 = 0.000$$

2. Теперь, мы должны включать то, что, когда один совок снижается и запасной погрузчик начинает свои обязанности, среднее время загрузки для системы изменено, это увеличивается. Мы должны применить результаты рассуждения, содержавшегося в Главе 12 монографии автора 2009 года. Зная среднее время загрузки для запасных погрузчиков, которое является $\tau =$ в 2.5 раза дольше, чем для совков, среднее время погрузки для системы совков n_o , если совки d снижаются ($d \leq n_o$) и все неудавшиеся машины всегда заменяются теми же колесными автопогрузчиками, может быть вычислен от формулы:

$$Z'_n(d, \tau) = Z'_n = Z' \left(1 + (\tau - 1) \frac{d}{n_o} \right) \quad (9.1)$$

Это указывает, что средний цикл работы грузовика варьируется, и это - функция количества неудавшихся совков и коэффициента τ . Кроме того, у различных ценностей этих средних значений есть своя собственная вероятность возникновения после биномиального распределения. Мы можем теперь оценить полное среднее время погрузки для целой системы, применяя формулу:

$$\bar{Z}_w = \sum_{d=0}^4 Z'_d P_{kd}^{(p)} = 1.93 \text{ min} \quad (9.2)$$

3. Мы теперь повторно вычисляем систему грузовиков.

- Ненужная подсистема — грузовики повышаются яма.
- Минимум означает количество грузовиков в состоянии работы:

$$h = B_k n_w [(Z_w + T_{lc})/Z_w] = 64.8 \quad (9.3a)$$

Обратите внимание, что в этой формуле, что установившаяся доступность совка исключена, потому что система погрузки машин полностью надежна (потому что есть запасные единицы).

- ⊙ Минимальному количеству грузовиков было нужно: $h/A_w \Rightarrow 86$
- ⊙ Применяя модель Марианович (уравнение 8.23) и увеличивая результат для грузовиков, направленных к яме на 10%, мы имеем:

$$\langle 1,1 \text{ м} = 75; r = 18 \rangle$$

- Средний номер E_{wkd} грузовиков в состоянии работы для этой системы 70.6.
- Подсистема руды — грузовики едут к дробилке:
- Минимум означает количество грузовиков в состоянии работы:

$$h = B_k n_o [(Z_w + T_l)/Z_w] = 17.4 \quad (9.3b)$$

- ⊙ Минимальному количеству грузовиков было нужно: $h/A_w \Rightarrow 23$
- ⊙ Применение модели Марианович и увеличение результата для грузовиков, направленных к яме 10% мы имеем:

$$1,1 \text{ м} = 22; r = 3 \rangle$$

- ⊙ Средний номер E_{wkd} грузовиков в состоянии работы для этой системы равняется 19.

- Вычисление темпа интенсивности потока ρ в системе погрузки машин.

Давайте проверим вначале, как интенсивно машины погрузки, работающие в старой системе, заняты. Оценка этого уровня может быть получена из формулы:

$$\rho = \frac{E_{wkd} Z_w}{n B_k T_t} \quad (9.4)$$

который дает:

$$\rho = \frac{126.5 \times 1.93}{9 \times 0.83 \times 28.2} = 1.16$$

Этот результат ($\rho > 1$) указывает, что будет очередь из грузовиков, ждущих нагрузки на среднее число, но это хорошо как машина погрузки, должен работать круглосуточный.

Теперь проверьте то, что ситуация находится в этом отношении в недавно разработанной системе.

Для системы грузовиков, буксирующих отходы, мы имеем:

$$\rho_w = \frac{70.6 \times 1.93}{5 \times 0.83 \times 28.2} = 1.16$$

Ситуация неизменна.

Для системы грузовиков, буксирующих руду:

$$\rho_o = \frac{17.4 \times 1.93}{4 \times 0.83 \times 8.2} = 1.23$$

Этот результат указывает, что система погрузки машин, справляющихся со сломанным минералом, должна быть более занятой — то есть, работающий более интенсивным способом — чем его ненужная подсистема. Однако принимая во внимание, что во втором сервисном центре (то есть, дробилка) иногда есть очередь полных откатчиков, ждущих демпинга, эта более высокая интенсивность занятия, кажется, правильна. (Если проектировщик новой системы мелочный, он собирается рекомендовать покупать несколько меньше грузовиков, но в некоторых случаях такой подход, кажется, не рационален, который будет доказан в дальнейшей части анализа системы).

Теперь, мы можем сформулировать предварительные выводы.

- После введения и применения дробилки и конвейеров, количество грузовиков в системе - 48 единиц меньше, чем прежде.
- Из-за меньшего числа грузовиков в системе, количество избыточных единиц может быть сокращено соответственно.

Следующая часть моделирования, анализа и схемы вычисления будет касаться системы руды исключительно, которая является подсистемой грузовика и непрерывной системой.

- Постройте распределение вероятности количества грузовиков (w) в состоянии работы (p), $P_{wb}^{(p)}$, $b = 0, 1, \dots, 22$ для системы руды, применив модель Марианович (уравнение 8.23). Результаты вычислений даны в Таблице 9.1 и рисунке 9.3. Таблица и число показывают все вероятности не меньше чем 0,001.

- Теперь оцените распределение вероятности количества грузовиков при погрузке машин для системы руды.

В процедуре вычисления систем грузовика совка больше информации запрошено, чем только среднее время, и относительно погрузки и относительно путешествия. Соответствующие стандартные отклонения необходимы. Есть два способа оценить эти параметры. Лучшее решение - оценка на основе эмпирических данных, взятых от операции системы, которую рассматривают. Вторым решением, приводящим к намного более низкой вероятности, но не нуждающимся ни в каких данных, является предположение, что коэффициент изменчивости остается приблизительно постоянным относительно соответствующего среднего значения. Это означает, что коэффициент изменчивости постоянен. Можно предположить, что стандартные отклонения 0.3 к 0.5 из средних. Если реальная стоимость немного выше или ниже, чем числа в этом диапазоне, произведенная ошибка довольно небольшая, и этим можно часто пренебрегать.

Предположите, что полевое расследование показывает, что стандартное отклонение погрузки времен является, скажем, на 50% меньше, чем соответствующее среднее значение, и стандартное отклонение времени прохождения равняется 4 минутам.

Таблица 9.1. Распределение вероятности количества грузовиков в работе указывает для системы руды $\langle 22, 3 \rangle$.

b	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$P_{wb}^{(p)}$	0.002	0.005	0.014	0.032	0.064	0.109	0.156	0.183	0.176	0.134	0.124

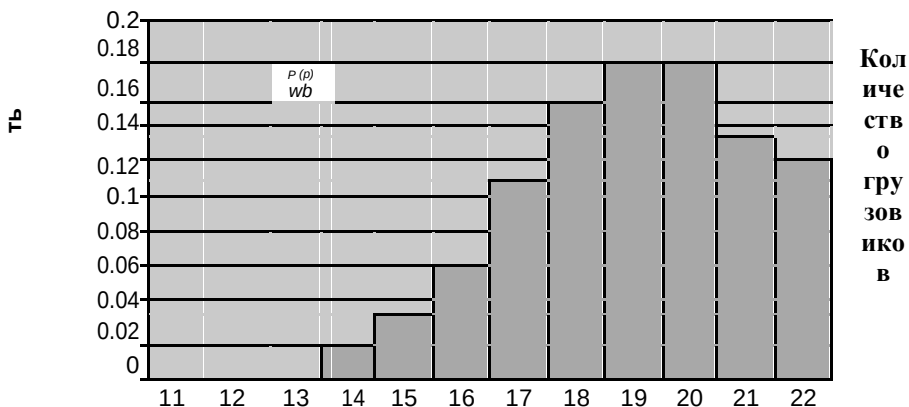


Рисунок 9.3. Распределение вероятности количества грузовиков в работе указывает для системы руды $\langle m = 22, r = 3 \rangle$.

Теперь мы обладаем всеми параметрами, требуемыми начать оценку.

- Среднее время загрузки $Z'_d = 0, 1, 2, 3, 4$
- Стандартное отклонение погрузки времен – $\sigma_z = 0.5 Z'_d \text{ мин}$
- Среднее время прохождения T_{tc}

Стандартное отклонение времени прохождения $\sigma_t = 4 \text{ мин}$

- Распределение вероятности количества сгребает состояние работы - $P_{kd}^{(p)}$
- Распределение вероятности количества грузовиков в состоянии работы

$$P_{wj}^{(p)}, j=0, 1, \dots, 22,$$

Перед представлением процедуры вычисления подсистемы грузовика совка руды должен быть ясно указан один важный момент: предпринятые вычисления будут полагать, что последующие случаи для переменного количества сгребает неудачу, d . Поэтому параметры и функции, которые будут представлены в этом пункте, будут условными — при условии, что есть поданное количество совков вниз соотояния.

Процедура вычисления системы грузовика совка руды согласно следующей схеме (см. монографию Чаплицкий 2009, Глава 9.2).

1. Вычисление площадей коэффициента изменений:

$$C_1 = \left(\frac{\sigma_j}{T_{lc}} \right)^2 \quad C_{2d} = \left(\frac{\sigma_z}{Z'_d} \right)^2 \quad (9.5)$$

2. Вычисление коэффициента относительной интенсивности погрузки:

$$\overline{\omega}_d = \frac{Z'_d}{T_{lc}} \quad (9.6)$$

3. Вычисление эксконент власти:

$$\beta'_{3d} = \frac{2[1 + (C_{2d}/C_1)]}{\overline{\omega}_d C_1} \quad (9.7a)$$

$$\beta'_{5d} = \frac{2\overline{\omega}_d(C_1 + C_{2d})}{(C_{2d} - \overline{\omega}_d C_1)^2} \quad (9.7b)$$

4. Строительство распределения вероятности количества грузовиков в совках руды.

для $0 \leq x \leq 4$

$$f_{5d}(x, b) = \frac{1}{(b-x)\overline{\omega}_d C_1 + x C_{2d}} \left(\frac{(b-x)\overline{\omega}_d C_1 + x C_{2d}}{b\overline{\omega}_d C_1} \right)^{b\beta'_{5d}} \exp \left(\frac{2(\overline{\omega}_d + 1)x}{\overline{\omega}_d C_1 - C_{2d}} \right) \quad (9.8a)$$

$$f_{5d}(x, b) = \frac{1}{b(\overline{\omega}_d C_1)} \exp \left(\frac{2x}{C_1} - \frac{(\overline{\omega}_d + 1)x^2}{b\overline{\omega}_d C_1} \right) \quad \text{if } \overline{\omega}_d C_1 - C_{2d} = 0 \quad (9.8b)$$

и для⁷ $4 \leq x \leq b$

⁷Номер 4 находится все еще в пределах и функциях, потому что есть 4 полностью надежных пункта погрузки в системе.

$$f_{6d}(x, b) = \frac{1}{(b-x)\overline{\omega}_d C_1 + 4C_{2d}} \left(\frac{(b-x)\overline{\omega}_d C_1 + 4C_{2d}}{(b-4)\overline{\omega}_d C_1 + 4C_{2d}} \right)^{4\beta'_{5d}} \exp \left(\frac{2(x-4)}{C_1} \right) \quad (9.8c)$$

b. Коэффициент, принимающий во внимание непрерывность функции:

$$\Psi_{bd} = \frac{f_{5d}(x, b)}{f_{6d}(x, b)} \quad (9.9)$$

c. Постоянная нормализация:

$$\kappa_{bd} = \left(\int_0^4 f_{5d}(x, b) dx + \Psi_{bd} \int_4^b f_{6d}(x, b) dx \right)^{-1} \quad (9.10)$$

д. Условная вероятность, что никакой грузовик не будет в совках руды:

$$p_{0d} = \sum_b^{22} P_{wb}^{(p)} \kappa_{bd} \int_0^{0.5} f_{5d}(x, b) dx \quad (9.11a)$$

е. Далее условные вероятности:

$$\begin{aligned} p_{1d} &= \sum_b^{22} P_{wb}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{0.5}^{1.5} f_{5d}(x, b) dx \\ p_{2d} &= \sum_b^{22} P_{bj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{1.5}^{2.5} f_{5d}(x, b) dx \\ p_{3d} &= \sum_b^{22} P_{wb}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{2.5}^{3.5} f_{5d}(x, b) dx \\ p_{4d} &= \sum_b^{22} P_{wb}^{(p)} \kappa_{bd} \left(\int_{3.5}^4 f_{5d}(x, b) dx + \Psi_{bd} \int_4^{4.5} f_{6d}(x, b) dx \right) \\ p_{>4d} &= \sum_b^{22} P_{wb}^{(p)} \kappa_{bd} \left(\Psi_{bd} \int_{4.5}^b f_{6d}(x, b) dx \right) \end{aligned} \quad (9.11b)$$

Последняя вероятность включает все случаи, где количество грузовиков в совках руды больше, чем количество погрузки машин (> 4).

5. Условное среднее количество грузовиков при погрузке машин:

$$E_{wd} = \sum_b^{22} P_{wb}^{(p)} \kappa_{bd} \left(\int_0^4 x f_{5d}(x, b) dx + \Psi_{bd} \int_4^b x f_{6d}(x, b) dx \right) \quad (9.12)$$

6. Интересный системный параметр - отношение:

$$E_{wd}/4 \quad (9.13)$$

7. Условная средняя потеря времени в цикле работы грузовика из-за бездействия грузовика, ждущего погрузки:

$$\Delta_d = Z'_d P_{kd}^{(p)} p_{>4d} \quad (9.14)$$

- E_{wd} - условное среднее количество грузовиков в d сгребает способный загрузить
- $E_{wd}/4$ - условное среднее количество грузовиков за 1loading машина
- P_{bd} - условная вероятность, что есть b грузовики в d погрузка машин
- $P_{>4d}$ - условная вероятность, что есть больше чем 4 грузовика в 4

Таблица 9.2. Параметры системы грузовика совка руды. о

Условные параметры					Условные вероятности					
d	$P_{kd}^{(p)}$	$Z'd-4$	E_{wd}	$E_{wd}/4$	p_{1d}	p_{2d}	p_{3d}	p_{4d}	$p_{>4d}$	Δ_d
сгребает способный к груз		минута	грузовики	грузовики/погрузка машина						минута
4	0.573	1.60	3.2	0.8	0.023	0.217	0.412	0.237	0.111	0.1
3	0.342	2.24	5.2	1.3	0.002	0.036	0.156	0.216	0.590	0.5
2	0.077	2.88	7.7	1.9		0.005	0.031	0.068	0.896	0.3
1	0.008	3.75	9.7	2.4		0.001	0.006	0.017	0.976	0.1
0	0.000	4.16	11.1	2.8			0.001	0.005	0.994	0.0
Безоговорочные параметры					Безоговорочные вероятности					
T_C	E_{wlk}	E_{wk}	θ	W_{efk}	W_{efw}	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4
минута	грузовики	грузовики	грузовики / погрузка машина	загруженный trucks/h	работа грузовика cycles/h					
11.13	3.4	15.2	9.9	105.7	102.4	0.000	0.0 14	0. 137	0. 292	0. 557

машинах погрузки

- Δ_d - условный параметр времени потерь
- T_C - среднее время цикла работы грузовика включая потери, но без потерь в дробилке
- E_{wlk} - среднее количество нагруженных грузовиков
- E_{wk} - среднее количество грузовиков при погрузке машин
- θ - среднее количество грузовиков за погрузку машины
- W_{efk} - эффективная производительность системы машины погрузки
- W_{efw} - эффективная производительность системы грузовика
- P_b - вероятность, что есть b загруженные грузовики; $b \leq 4$

Результаты вычислений этих вероятностей и parameters8 показывают в Таблице 9.2.

В конце этих вычислений условных параметров должны быть сделаны некоторые замечания. Когда все совки снижаются и являются только колесными автопогрузчиками, выполняют их обязанности, среднее время загрузки является самым долгим (4,16 минуты) и в среднем есть приблизительно 11 откатчиков при погрузке машин (приблизительно 2,8 единицы за погрузчик). Мы предполагаем здесь, что диспетчер грузовика не вмешивается в систему оборудования. Однако он может решить, что есть

слишком много грузовиков, ждущих праздно погрузки, и поэтому он может отозвать некоторые грузовики из ямы.

- Вычислите безоговорочные вероятности системы грузовика руды. Вероятность, что никакой грузовик не будет в совках руды:

$$p_0 = \sum_d p_{0d} P_{kd}^{(p)} = 0.000 \quad (9.15a)$$

Вероятность, что только 1 грузовик будет загружен:

$$p_1 = \sum_d p_{1d} P_{kd}^{(p)} \quad (9.15b)$$

Вероятность, что будут загружены 2 грузовика:

$$p_2 = \sum_d p_{2d} P_{kd}^{(p)} \quad (9.15c)$$

- Чтобы быть довольно точными вероятностями также системные параметры, но сделать результаты из анализа больше коммуникативных вероятностей рассматривают отдельно.

Вероятность, что будут загружены 3 грузовика:

$$p_3 = \sum_d p_{3d} P_{kd}^{(p)} \quad (9.15d)$$

Вероятность, что будут загружены 4 грузовика

$$p_4 = \sum_d P_{kd}^{(p)} (p_{4d} + p_{>4}) \quad (9.15e)$$

Все эти вероятности даны в Таблице 9.2, и это распределение вероятности показывают на рисунке 9.4.

Смотря на рисунок 9.4 некоторые комментарии должны быть сделаны. Только в 56% случаев будет все пункты погрузки быть оживленным, и приблизительно в 30% случаев только три пункта погрузки будут выполнять свои обязанности. Это, кажется, не очень высоко. Тем более, что анализ темпа интенсивности потока предположил, что система руды была довольно активна из-за высокого количества откатчиков. Что вызвало эту ситуацию? Ответ прост: стохастическая природа процесса эксплуатации проанализированной системы оборудования. Кроме того, одно важное наблюдение, специально для проектировщиков этого типа системы, должно быть дано здесь:

Процедура выбора количества грузовиков для данной системы совков полагается *‘на просто соответствие и только соответствие’* обеим системам; это не гарантирует очень высокий показатель использования машин погрузки.

Обратите внимание, что потери, вовремя выраженные ценностями параметра, маленькие. Между прочим, параметр времени потерь зависит от

стандартных отклонений времен фаз цикла работы грузовика (времена погрузки и путешествия). В исследуемой системе стандартные отклонения довольно высоки. Если их ценности будут уменьшены до 30% их соответствующих средств, например, массы условных и безоговорочных вероятностей будут перемещены, приводя к маленькому сокращению потерь времени, и поэтому фактическая производительность системы грузовика руды будет немного больше.

Заметьте дополнительно, что возможное возникновение очереди в дробилке и ее влиянии на работу системы еще не было проанализировано, но, к сожалению, это может сделать ситуацию с эксплуатацией хуже.

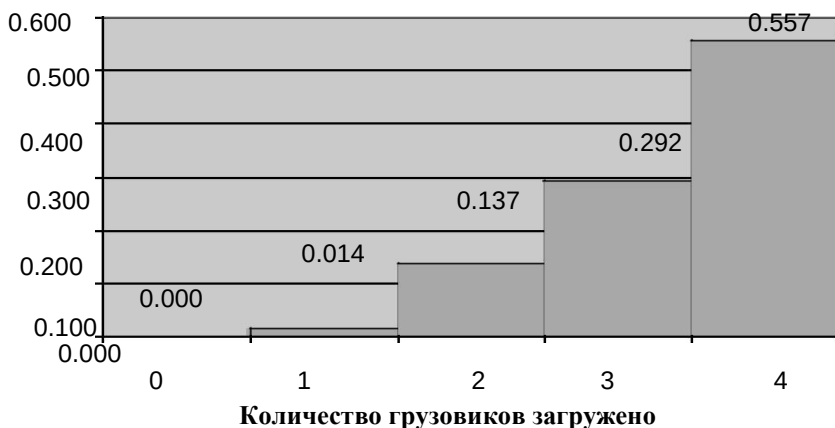


Рисунок 9.4. Распределение вероятности количества грузовиков загружено совками руды.

- Вычислите дальнейшие безоговорочные системные параметры.

Среднее количество нагруженных грузовиков в машинах погрузки руды:

$$E_{wlk} = \sum_d dp_d = 3.4 \quad (9.16)$$

Среднее количество грузовиков за пункт погрузки:

$$\theta = \frac{1}{4} \sum_d P_{kd}^{(p)} E_{wd} = 1.1 \quad (9.17)$$

Среднее время цикла грузовика включая потери (однако, без потерь, вызванных злой очередью из грузовиков, ждущих разгрузки в дробилке):

$$T = {}_c Z_w + T_{tc} + \Sigma \Delta_d = 11,13 \text{ минут} \quad (9.18)$$

- Теперь мы делаем оценку продукции системы.

Несколько дальнейших параметров системы могут быть определены, который даст некоторую дополнительную информацию о свойствах системы, но наше интересное место - вычисление недавно разработанной системы с дробилкой.

Будут определены две меры продукции системы. Фактическая производительность системы совка руды:

$$W_{efk} = \frac{60}{Z_w} E_{wk} = 105.7 \text{ грузовики/ч} \quad (9.19)$$

Эта мера по производительности включает надёжность и совков и грузовиков и потерь из-за отсутствия грузовика в свободном совке.

Фактическая производительность системы грузовика руды:

$$W_{efw} = \frac{60}{T_c} E_{wk} = 102.4 \text{ рабочая езда грузовиков/ч} \quad (9.20)$$

Таким образом мы можем безопасно предположить, что поток руды, которая может быть поставлена дробилке:

$$S_{pcr} = WQ_{efw} \approx 12\,290 \text{ т/ч} \quad (9.21)$$

- Вычислите установившуюся доступность непрерывной системы.

Полевые расследования показали, что во многих случаях процесс эксплуатации дробилки типа ремонта работы может быть удовлетворительно описан моделью Маркова. В некоторых случаях распределение времен ремонта не может быть приемлемо изображено показательным распределением вероятности, и процесс изменений состояний имеет тип Полумарковский (Глава 7.6). Однако имея в виду приближения, данные Гнейденко и др. (1965) выраженный формулами 7.2 и 7.3 для серийных систем, мы можем все еще применить принципы сокращения для серийной системы.

Зная отношения между установившейся доступностью A_{con} и частотой ремонтов K (уравнение 5.25) мы можем вычислить установившуюся доступность непрерывной системы согласно второму принципу сокращения серийной системы типа Маркова (уравнение 7.3):

$$A_{con} = (1 + u_{con} K_c + K_{cr})^{-1} = 0.813 \quad (9.22)$$

- Теперь рассмотрите потенциальную сокрушительно буксирующую способность непрерывной системы.

Очевидно, что продукция дробилки и мощность транспортировки конвейеров должны быть идентичными. Если все эти элементы оборудования в действии, поток плавной массы должен быть однородным. Такое соответствие не существует, где их доступность рассматривают. Конвейеры пояса могут

работать непрерывно в течение многих дней без любого прекращения. Дробилка должна подвергнуться некоторым профилактическим действиям. Поэтому коэффициент доступности B_{cr} для данной дробилки дан. Если S_{cr} обозначает дробилку и продукцию конвейеров, потенциальный непрерывный системный S продукции pc может быть вычислен от формулы:

$$S_{pc} = S_{cr} A_{con} B_{cr} \quad (9.23)$$

- Постройте распределение вероятности количества грузовиков в дробилке. Мы анализируем, насколько занятый дробилка будет, применяя предложенную систему грузовика для данной системы совка. Темп интенсивности потока для этого классификатора:

$$\rho_{cr} = \frac{1}{2} \frac{T_{dp}}{T'_i} \frac{E_{wkd}}{A_{con} B_{cr}} = \frac{0.7 \times 19}{2 \times 10.43 \times 0.813 \times 0.880} = 0.89$$

где T'_i является средним временем грузовика поездки, вычисленное от суммы следующих средних значений: буксировка + груз + возвращение + потери времени.

Результат указывает, что дробилка будет занята (ситуация с интенсивным движением), но не 'смертельно' занята. Это, кажется, правильно.

Распределение вероятности количества грузовиков в дробилке может быть получено, применив модель Сивэзлиэна и Вана. Его главные параметры до дробилки (как сервисный центр) затронуты:

- есть два 'сервисных центра' (два грузовика могут разгрузиться одновременно);⁹

- среднее время грузовика 'едет' $T'_i = 8.2 - 0.7 + 1.93 + \Sigma \Delta = 10.43$ минут
- среднее время демпинга $T_{разность потенциалов} = 0.7$ минуты
- мы предполагаем, что соответствующее стандартное отклонение, связанное со средним временем демпинга, составляет 20% среднего значения.

После быстрых вычислений могут быть найдены параметры системы.

- Распределение вероятности количества грузовиков в дробилке:

$$\begin{aligned} q_0 &= 0.027 & q_1 &= 0.739 \\ q_2 &= 0.230 & q_{>2} &= 0.003 \end{aligned}$$

- Среднее количество грузовиков в дробилке и коэффициенте времени потерь:

$$\Xi = 1.2 \text{ грузовики } \Delta = 0.0 \text{ мин}$$

- Проанализируйте основные меры эффективности системы. Система состоит из трех подсистем:

- погрузка машин (сгребает и запасные единицы: колесные автопогрузчики)

- грузовики
- дробилка и конвейеры.
- Мы отклоняем дело, которое может разгрузить только один грузовик.

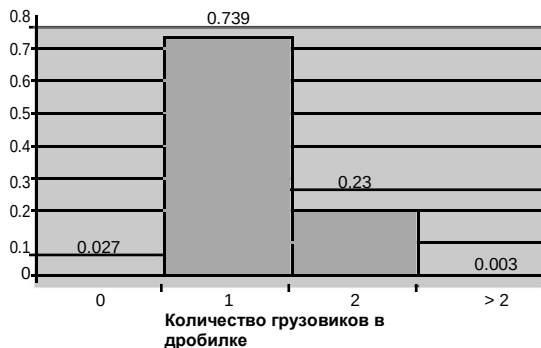


Рисунок 9.5. Распределение вероятности количества грузовиков в дробилке.

Фактическая производительность первых двух подсистем была оценена в пункте 9. Давайте обсудим способность третьей подсистемы. Смотря на среднее количество грузовиков в дробилке, поток руды может быть оценен от формул:

$$W_{efcr} = \Xi \frac{60}{T_{dp}} = 102.9 \text{ грузовики/ч} \quad (9.24)$$

$$S_{ocr} = \Xi Q \frac{60}{T_{dp}} \cong 12340 \text{ t/h} \quad (9.25)$$

Сравнивая эти три мощности, W_{efk} , W_{efw} и W_{efcr} , которые являются 105.7, 102.4, и 102.9 грузовика/ч, можно предположить, что системная способность будет приблизительно 102,4 грузовиками/ч (самая низкая стоимость), который дает 12 290 т/ч.

Теперь вспомните формулу 9.23. Зная системную способность мы можем вычислить номинальную способность непрерывного системного получения:

$$S_{cr} = \frac{S_{pcr}}{A_{con} B_{cr}} \cong 17200 \text{ t/h} \quad (9.26)$$

Помните:

Недоступность и ненадёжность данного объекта удаляют время. Чтобы получить проектную мощность, номинальная продукция объекта должна быть больше, чтобы выполнить данную задачу (перевозка, извлечение, свалив) в более короткое время периода.

15. Заключение, рекомендации и замечания.

Смотрение на три продукции соединилось с системой, мы можем интуитивно ожидать, что все числа должны быть приблизительно тем же. В исследуемом случае числа друг близко к другу, но в исследованиях различных систем этот добрый несходства могут стать более видимыми. Причины для поколения таких различий происходят из других источников. Во-первых, процедура - многоступенчатая, и в каждом шаге некоторое округление неизбежно. Это может накопиться во время вычислений. Во-вторых, природа метода, применяемого также, создает некоторые различия. Модель работает, но только под ситуацией с интенсивным движением. Это условие выполнено с различной властью для различных сервисных центров в системе. Кроме того, характер метода таков, что полученными результатами являются приблизительные. Кроме того, есть два перехода: один, от дискретного пространства до непрерывного и — после преобразований — есть возвращение от непрерывного пространства до дискретного. Каждый переход может произвести некоторые расхождения. ◀

В конце этой процедуры вычисления мы должны предпринять некоторый финансовый анализ. Производительность новой системы должна быть по сравнению с производительностью 'старой' системы. Сбережения, связанные с сокращением размера флота грузовика, должны быть по сравнению с расходами, связанными со строительством и операцией новой подсистемы и, очевидно, время - важный фактор здесь — оценка должна быть сделана о том, будут ли эти расходы восстановлены через запланированные сбережения перед завершением эксплуатации рудника. Кроме проблемы физического строительства новых элементов оборудования в шахте, должна быть тщательно проанализирована проблема эксплуатации дробилки. Как правило, классификаторам нужно много власти, запасных частей и обслуживания. И дополнительно — и значительно — классификатор работает в серийном типе системы. Все эти проблемы нужно рассмотреть точно и проникающим способом.

Чтобы завершить этот раздел, несколько дополнительных объяснений должны быть даны, потому что случай, который был проанализирован, был конкретным. Рассуждение было немного упрощено, потому что диспетчер грузовика не вмешивается в систему, и это, таким образом, изменяет структуру системы. Стоит помнить, что есть два типа решений, принятых диспетчером грузовика:

- решения, изменяющие особенности системы постоянно
- текущие решения, реагирующие на ситуацию в яме, но не изменяющие особенности системы.

Чтобы быть довольно правдивым, каждое решение вызывает некоторые изменения в системе грузовика совка и ее особенностях, но большинство их вносит небольшие изменения, и только в течение короткого периода времени. С точки зрения вычислений ими пренебрегают. Оценка системы этого вида

базируется, главным образом, на средних значениях. Таким образом должны быть соответственно большие данные, чтобы получить *хорошие* оценки этих параметров; *хороший* в статистических терминах. Их применение также не имеет никакого смысла, если операция измененной системы не будет соответственно долга. Это объясняет термин 'постоянно'. Два типа решений производят значительную модификацию в особенностях системы — изменяется в структуре системы и изменениях в приоритете типа буксируемой скалы. Влияние этих модификаций на конкретных системных особенностях представлено в монографии Чаплицкий (2009).

Однако вот намек о том, как включать возможные решения диспетчера грузовика относительно изменений в структуре системы в процедуре вычисления.

Если количество грузовиков в яме относительно большое — то есть, есть длинные очереди откатчиков, ждущих, чтобы быть загруженными — диспетчер грузовика может принять решение, чтобы забрать определенное число транспортных средств от ямы. Если так, отношение количества грузовиков предписало работать и количество грузовиков в запасных изменениях. Необходимо вычислить систему с новой парой $\langle m, r \rangle$. Модификации будут видимы в распределении вероятности количества грузовиков в состоянии работы и в распределении вероятности количества единиц в сервисных центрах, и в совках и в дробилке. Оценка эффективности системы будет отличаться. Кстати, если число изъятых откатчиков значительное, характер запаса может изменить решительно создание системы грузовиков, работающих в яме, полностью надежной потому что 'всегда будет машина, чтобы заменить неудавшуюся'.

9.2 СИСТЕМА ЛОПАТНО-ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И НАКЛОННЫЙ ПОДЪЕМНИК ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ТИПА

Как был указан в начале этой главы, был непрерывный поиск способов уменьшить огромные затраты, связанные с применением систем грузовика совка. Одно предложение в этом отношении было применением наклонного подъема нового типа, ¹⁰ названных TruckLift, который позволит удаление полностью нагруженного грузовика от ямы. Это предложение было внесено в начале этого века производителем добывающего оборудования, которое много лет было известно. Это

- Идея для этого оборудования была взята от промышленности верфи, где огромные стапели используются.

самая убедительная информация о применении этого типа подъема: 'Грузовик поднят на поверхность только через 2 минуты, в то время как вождение на наклонной поверхности дороги трофея занимает приблизительно 20 минут' (в описанном случае, у ямы были глубина приблизительно 300 м и наклонная поверхность наклона ямы на 50° — www.

siemag.de/new/en/schraeg.htm, 2004). Нужно добавить здесь, что во время путешествия на грузовике пандус много топлива потребляется, и выбросы выхлопных газов неизбежны. Подъем, однако, использует чистую электроэнергию. Кроме того, во время путешествия грузовика пандус его шины интенсивно носят, и поверхность дороги мелется. Водители грузовика работают с большой концентрацией. Во время перемещения откатчика подъемом грузовик сидит неподвижный, и у водителя и двигателя есть отдых. Если использование этого подъема понизит интенсивность движения в яме, это понизит вероятность дорожно-транспортного происшествия и поэтому увеличит безопасность. Если есть много транспортных средств в яме, они могут потревожить друг друга вызывающего более длительные циклы работы грузовика, таким образом, уменьшив продукцию системы. Применение подъема уменьшает вероятность возникновения этого явления. Кроме того, сокращение количества огромных топливных баков - также большое преимущество. Некоторые дальнейшие достоинства могут быть перечислены здесь, и обычно преимущества применения этого типа установки, кажется, неопровержимы. Однако результаты рекламной кампании, созданной производителем, несколько удивительны — до сих пор, никакая шахта в мире не купила и применила этот тип подъема. Кампания была оставлена несколько лет назад. Мы не анализируем аргументы против применения здесь, отмечая только, что ожидаемая целая жизнь подъема этого типа, как оценивается, составляет 40 - 50 лет (возможно, дольше), тогда как средняя целая жизнь карьера не превышает 20 лет. Нет сомнения, что применение подъема имеет экономический смысл, если целое предприятие шахты достаточно крупное, чтобы возместить деньги, потраченные на покупку, доставку и установку в яме. Но большинство добывающих проектов значительно короче, чем вышеупомянутая средняя продолжительность. По этой причине ряд возможных покупателей довольно маленький. Также игнорируя ошибки, сделанные во время коммерческой кампании, один пункт казался довольно ясным — не было никакого аналитического описания, данного производителем, заявляющим, какие изменения в системных параметрах оборудования произойдут после применения этого типа подъема. Другая интересная тема в этом отношении должна рассмотреть, как значение применения подъема изменится с увеличением разработки мин. Анализ применения подъема - тонкая проблема, потому что, когда глубина шахты увеличивается, время путешествия платформы, несущего откатчика, увеличивается также, что означает, что вместимость транспорта подъема уменьшается. Тем не менее, среднее расстояние для откатчика, чтобы двигаться от ямы увеличивается значительно, и поэтому преимущество применения подъема также увеличится.

Теперь, с выгодой хорошо разработанного метода процедуры анализа и вычисления систем грузовика совка, данных в монографии Чаплицкий 2009 года, мы в состоянии построить метод анализа и оценки выгоды применения подъема типа TruckLift. Это стоит отослать здесь к первой упрощенной процедуре оценки системы грузовика совка с наклонным подъемом. Эта

процедура была описана упрощенным способом автором в его учебнике 2004 года, а также в газетах (2004с, 2008b).

Общее представление о системном процессе эксплуатации, который будет пунктом наших расследований, показывают на рисунке 9.6.

9.2.1 Формулировка проблемы и предположений

Применение наклоненного подъема типа TruckLift имеет экономический смысл только, когда целое предприятие крупное, когда большие количества извлеченной скалы будут удалены из ямы, конечная глубина ямы составит по крайней мере несколько сотен метров, и включенная система оборудования будет включать несколько дюжин или больше машин. Однако это означает, что наклоненный установленный подъем примет только определенное участие потока обращающихся грузовиков.

Давайте запишем целую систему оборудования и процесс ее эксплуатации в математической форме, давая дополнительно некоторые объяснения.

Есть данная система оборудования $\mathcal{E}$, состоящая из n ($n \geq 2$; $n \in 1, 2, \dots, n$) совки власти, работающие в яме. Чтобы выполнить задачу перевозки, определенную системой совков m ($m \geq 2$; $m \in 1, 2, \dots, m$), грузовики направлены к яме, и g грузовики находятся в запасе. Установлен наклоненный подъем

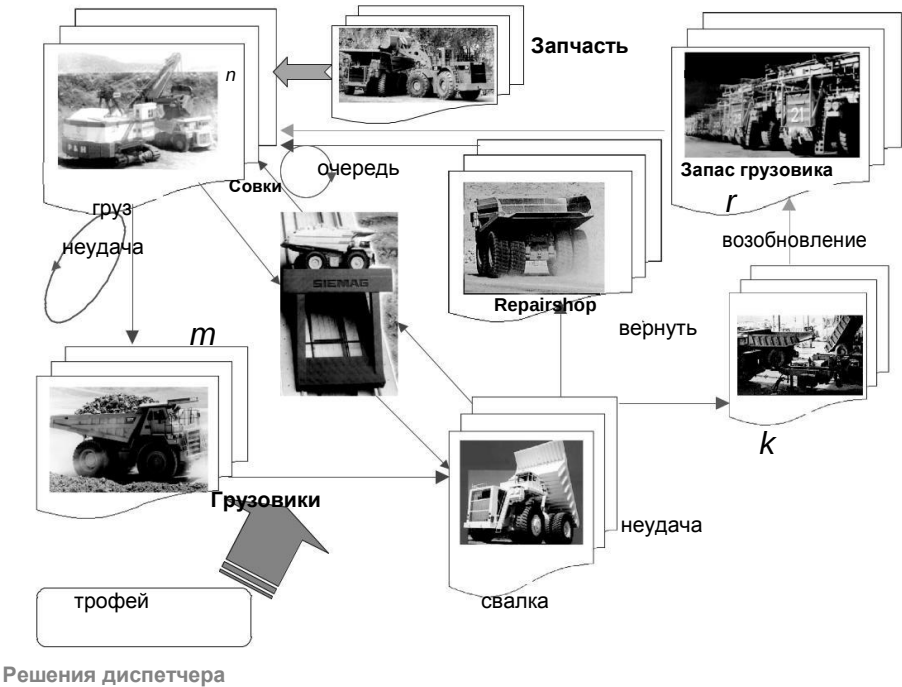


Рисунок 9.6. Схема потока машин в системе.

в шахте. Параметры базовой системы известны: G_k - совок, загружающий коэффициент способности (это - продукт совка установившаяся доступность и коэффициент доступности совка), A_w - установившаяся доступность грузовика, A_T - установившаяся доступность подъема, и U_T - ежедневное номинальное использование подъема (22.5/24 h).11, на заливе обслуживания шахты есть ремонт k , обозначает грузовики. Мы предполагаем что структурные системные параметры $\langle m, r, k \rangle$ были отобраны правильно (процедура надлежащего выбора этих параметров описана в Чаплицкий 2009).

Эта система и ее эксплуатационные параметры, определяющие процесс эксплуатации $\mathfrak{P}$, могут быть описаны как:

$$\mathfrak{S} \cap \mathfrak{P} : \langle \mathfrak{S} : n \geq 2, i = 1, 2, \dots, n, G_k \mathfrak{W} : A_w, m \geq 2, b = 1, 2, \dots, m, r \mathfrak{X} : A_T, U_T; \mathfrak{D} : k \rangle$$

где:

$\mathfrak{S}$ – набор совков власти

$\mathfrak{W}$ – набор грузовиков

$\mathfrak{X}$ – наклоненный подъем

$\mathfrak{D}$ – набор ремонта стоит.

Чтобы достигнуть анализа и оценки системы необходимы, несколько дальнейших параметров. Давайте перечислим их.

- Заметьте различие между использованием объекта и номинальным использованием объекта, оба выраженные за единицу времени (в день (24 ч) в этом случае). Мера использования объекта может быть средней стоимостью, например, потому что это определяет случайную переменную, тогда как номинальное использование (детерминированная стоимость) описывает, сколько часов в день объект может использоваться, чтобы выполнить его обязанности, чтобы выполнить его задачу. На самом деле номинальное использование (термин, использованный производителем), определяет время распоряжения подъема.

Технические возможности используемого оборудования и конфигурация ямы во время нашего анализа таковы что:

- среднее время перевозки грузовика пандус является T_o для всех грузовиков

- среднее время свалки грузовика - T_w для всех грузовиков

- среднее время возвращения грузовика по пандусу - T_r для всех грузовиков

- среднее время погрузки грузовика - T_z для всех грузовиков и совков власти. Для грузовика, используя наклоненный подъем подходящее время:

- среднее время нагруженного путешествия на грузовике от совка до подъема - T_{KT} для всех грузовиков и совков

- среднее время нагруженного путешествия на грузовике от подъема до пункта демпинга - T_{Tw} для всех грузовиков и свалок

- среднее время пустого путешествия на грузовике от свалки до подъема - $T_{вес}$ для всех грузовиков и свалок

- среднее время пустого путешествия на грузовике от подъема до совка власти - T_k
- среднее время путешествия на грузовике подъемом - T_T .

Все случаи будут даны в минутах, если не будет никакой другой спецификации. Для анализа системы будет применена удвоенная рандомизированная модель Сивэзлиэна и Вана. Поэтому нам нужна информация о соответствующих стандартных отклонениях. Поэтому давайте предположим что:

- σ_t стандартное отклонение времен путешествия на грузовике, не используя подъем
- σ_w стандартное отклонение времен путешествия на грузовике, используя подъем
- σ_z стандартное отклонение времен погрузки грузовика.

Мы теперь должны определить несколько важных предположений, необходимых, прежде чем мы сможем возобновить наши соображения.

Предположение. (1): пункты демпинга правильно устроены — то есть, очереди из грузовиков, ждущих разгрузки, редки и незначительны.

Предположение. (2): количество ремонта обозначает грузовики, правильно отобран — то есть, среднее время ожидания неудавшегося грузовика для ремонта незначительно.

Предположение. (3): стенды ремонта полностью надежны.

Предположение. (4): диспетчер грузовика гарантирует что:

- подъем используется в максимуме
- любая очередь на грузовик в яме в пункте погрузки подъема коротка.

Давайте кратко обсудим значение этих предположений. Посылки (1), (2) и (3) упрощают процедуру значительно.

Предположим, что посылка (1) не держится. Если ситуация с эксплуатацией в яме такова, что очереди на грузовики *могут* произойти и в пунктах загрузки и разгрузки и в очередях на свалках, не может пренебречься, процедура вычисления расширена по сравнению со схемой, данной в монографии автора 2009 года. Следовательно, процедура должна быть ступившей цепью один. Во-первых, очереди на свалках определены, и их эффект на удлинение среднего времени цикла работы грузовика включен в схему вычисления. Затем, интересное место - система погрузки машин. Здесь определенная очередь желательна. Снова, такая очередь расширяет средний цикл повременной работы грузовика. Это должно быть принято во внимание. Вычисления должны быть повторены. Примеры этого вида процедуры были представлены в 2004 Чаплицкий.

Предположим, что посылка (2) не держится. Если количество стендов ремонта недостаточно, очередь из неудавшихся грузовиков, ждущих ремонта, происходит. Это сокращает среднее число грузовиков в состоянии работы. Чтобы выполнить задачу перевозки, необходимо увеличить или число грузовиков или количество ремонта, стоит. Первое решение увеличивает добычу руды до некоторой степени; однако, среднее количество грузовиков в

увеличениях неудачи. Лучшее решение - расширение залива обслуживания. В некоторых случаях заявление грузовиков с лучшими параметрами должно быть рассмотрено. Стоит понять, что даже небольшие изменения в надежности откатчиков могут привести к значительным изменениям в системных параметрах. Много примеров, доказывающих это заявление, даны в монографиях Чаплицкий 2006 и 2009.

Если посылка (3) отклонена, альтернативная пара предположений должна быть сформулирована с теоретической точки зрения, указав что:

- система ремонта стоит, имеет решительную надёжность
- система стенов ремонта периодически доступна.

Эти гипотезы увеличивают число вычислений решительно. Это открывает отдельную главу моделирования и вычисления. Предположение, что стенов ремонта могут потерпеть неудачу, производит — с математической точки зрения — новая рандомизация одного из параметров структурной системы. Пример этого вида моделирования показали в монографиях Чаплицкий 2006 и 2009. Однако в добывающей практике ремонтная мастерская открыта 24 часа в день, как правило.

Посылка (4) очевидна. Подъем - дорогой элемент оборудования и похожим способом привести совки в действие, он должен быть использован экстенсивно. Таким образом правило посылки грузовика, используемое в шахте, должно быть изменено, чтобы гарантировать максимальное использование подъема. Вторая часть этого предположения — существования очереди на грузовик — должна гарантировать это высокое использование. Однако эта очередь не должна быть слишком длинной, особенно та вниз в яме. Время, проведенное в очереди, расширяет среднее время цикла работы грузовика. Кроме того, много грузовиков, стоящих в очереди, могут заблокировать транспортную дорогу ямы до некоторой степени.

Должны быть сформулированы два дальнейших предположения.

Задница. (5): система имеет (или не имеет), запасные машины погрузки.

Задница. (6): тип посылки используемого правила известен.

Рассмотрите посылку (5). У существования запасных единиц, которые могут продолжить загрузку обязанности, когда один или несколько совков власти снижаются, есть обширные последствия. Это не только означает простое увеличение системного производства (по сравнению с системой без запчастей), но также и существенные изменения в системных параметрах, такой как, как правило, увеличение в среднее время загрузки, как был показан, исследуя систему грузовика совка с конвейерами пояса и сокрушительным. В случае, где подъем установлен в системе, владение запасными машинами погрузки очень желательно. Среднее количество обращающихся грузовиков в работе указывает увеличения, как делает использование подъема. Это будет доказано в дальнейшей части соображений.

Теперь рассмотрите посылку (6). Формулировка правила посылки для системы оборудования имеет колоссальное влияние на ход операции всего оборудования, ценностей мер эффективности системы, использования

оборудования, включенного включая устройства обслуживания, и частоту и содержание решений относительно изменений в структуре системы. Во время процесса эксплуатации месторождения полезных ископаемых иногда происходит ситуация, посредством чего необходимо ускорить удаление или руды или отходов. Это означает, что совки власти, загружающие определенный тип разрушенной породы, которой уделяют первостепенное значение, являются главным беспокойством, и пустые откатчики направлены — сначала — к этим машинам. Проблема этого вида приоритета была обсуждена кратко в монографии Чаплицкий 2009 года. Эта проблема была также исследована более всесторонне недавно (Чаплицкий 2008е). Обычно у применения наклоненного подъема должно быть большое положительное значение для системы, работающей под этим типом приоритета. Никакая публикация по этой теме не была ранее выпущена, и выглядит, как будто производитель подъема пропустил эту проблему полностью во время ее рекламной кампании.

Чтобы ясно дать понять наши дальнейшие расследования и коммуникативный, и соответственно общий, мы предположим что:

- в системе есть запасные машины погрузки
- нет никакого приоритета в правиле послышки кроме связанного с использованием подъема. Процедура вычисления системы, которую рассматривают, может быть следующие.

Определение распределения вероятности количества власти сгребает состояние работы (биномиальное распределение), $P_{kd}^{(p)}$, $d = 0, 1, \dots, n$.

Вычисление среднего времени погрузки как функция количества запасных единиц, работающих в системе погрузки и вычисления общего количества, означает время загрузки для системы.

- Вычисление числа откатчиков в состоянии работы, которое необходимо, чтобы служить системе погрузки машин. Определение распределения вероятности количества грузовиков в состоянии работы, $P_{wb}^{(p)}$ $b = 0, 1, \dots, m$.

- Вычисление темпа интенсивности потока ρ в системе погрузки машин.

- Применение модели Сивэзлизна и Вана получить условные системные параметры для следующих пар $\langle d, (n - d) \rangle$ (обозначение количества власти сгребает способный загрузить и количество погрузчиков, которые в состоянии загрузить замену, подвел совки); ценности некоторых параметров укажут, когда структура системы должна будет быть изменена; когда структура системы изменена, модель Марианович должна быть применена снова, чтобы получить распределение $P_{wb}^{(p)}$, и вычисления должны быть повторены.

- Оценка распределения вероятности количества грузовиков при погрузке машин.

- Определение безоговорочных системных параметров и меры эффективности системы.

Вычисление системы с подъемом.

- Вычисление и анализ грузовика фракционировали $r \tau(d)$ взятый подъемом.
- Вычисление среднего времени путешествия на грузовике.
- Оценка стандартных отклонений, соответствующих со средними ценностями, оцененными в пункте 9.
- Оценка условных параметров системы при погрузке машин, с исправлением и повторением вычислений при необходимости.
- Оценка безоговорочных параметров системы при погрузке машин.
- Оценка производительности системы.
- Заключение, рекомендации и замечания.

Давайте сформулируем существенные параметры, требуемые вычислить систему.

Среднее время путешествия на грузовике (трофей — свалка — возвращение) не использование подъема:

$$T = T_o + T_w + T_r \quad (9.27)$$

Давайте теперь определим среднее время путешествия на грузовике, используя подъем. Полностью нагруженный грузовик начинает переезжать от машины погрузки, и диспетчер инструктирует, что грузовик направлен к станции погрузки подъема. Откатчик, прибывающий в станцию, может столкнуться с одной из трех возможных ситуаций:

- платформа подъема свободна и ждет груза
- нет никакого нагруженного грузовика/грузовиков, ждущего платформы, но платформа находится в движении с полностью нагруженным грузовиком, или пустой грузовик опускается в яму
- есть полностью нагруженный грузовик, возможно, два, на станции погрузки подъема, и платформа находится в движении с полностью нагруженным грузовиком, или пустой грузовик опускается в яму.

Ситуация (а) является самой удобной для грузовика; однако, это неудобно с точки зрения рекомендуемого тяжелого использования подъема. В хорошем посылающем грузовик режиме у этого состояния должна быть низкая вероятность возникновения.

Ситуация (b) выглядит более вероятной хотя не удобный для высокого использования подъема. Грузовик ждет короткое время платформы.

Ситуация (с) является самой вероятной. Грузовик ждет платформы в короткой очереди.

Поэтому мы можем предположить, что будет определенная средняя временная задержка — самосвал ждет транспортировки. Ценность этого означает, зависит от времени T_T . Таким образом мы можем ввести коэффициент, увеличивающий среднее время путешествия на грузовике. Давайте обозначим его ψ , $\psi > 1$, его повышения стоимости для посылки более низкого качества (то есть, бедный посылающий грузовик режим).

Среднее время путешествия на грузовике, используя подъем может быть определено следующим образом:

$$T = {}_{cT} T_{kT} + \psi T_T + T_{Tw} + T_w + T_{\text{вс}} + \psi T_T + T_{Tk} \quad (9.28)$$

Давайте теперь оценим соответствующие сервисные способности погрузки и поднять системы

Потенциальная фактическая производительность подъема в течение его времени распоряжения 22,5 ч/день, игнорируя время бездействия подъема из-за отсутствия грузовиков:

$$W_{\text{пел}T} = 60 A_T / 2 T_T \text{ грузовики/ч} \quad (9.29)$$

Потенциальная фактическая производительность системы погрузки — пренебрежения бездействием погрузки машин из-за отсутствия самосвалов — для d совков власти, которые в состоянии выполнять их обязанности:

$$W_{\text{пел}ik} = 60 n Z'_n(d, \tau) \text{ грузовики/ч} \quad (9.30)$$

где $Z'_n(d, \tau)$ является средним временем загрузки.

Рассмотрите это отношение:

$$r(d, \tau) = r_\tau(d) = \frac{W_{\text{пел}T}}{W_{\text{пел}ik}} = \frac{A_T}{n} \frac{Z'_n(d, \tau)}{2T_T} \quad (9.31)$$

Давайте назовем этот параметр 'стохастической частью грузовика подъема.

Этот фактор сообщает нам, какое участие потока нагруженных грузовиков может быть принято подъемом, принимающим посылку грузовика без ошибок (в монографии Чаплицкий 2009 года, понятие об *идеальном диспетчере* было сформулировано). Заметьте, что это - дискретная функция, которая зависит от двух параметров d и τ . Однако для данной системы оборудования, τ зафиксирован, и поэтому эта функция зависит исключительно от количества власти, сгребает неудачу, потому что это число связано со средним временем погрузки. Поэтому примечание $r(d)$ твведено. Если другой тип запасного погрузчика используется, эта функция изменения, потому что различная ценность параметра τ должна быть включена в вычисления.

Мы должны все еще иметь в виду максимальное использование подъема.

Таким образом среднее время путешествия на грузовике на целое население может быть определено как:

$$\bar{T}_\tau(d) = [1 - r_\tau(d)]T_i + r_\tau(d)T_{cT} \min \quad (9.32)$$

Чтобы применить Сивэзлиэна и Вана моделируют, стандартное отклонение, связанное с этим, означают, требуется. Использование так называемой идентичности изменения (эта идентичность определяет различие населения, разделенного на определенное число групп, Собчук 1996 р. 46), и изменение его соответственно, чтобы удовлетворить наши потребности, мы можем записать формулу для различия:

$$\sigma_{\tau}^2(d) = \sigma_c^2[1 - r_{\tau}(d)] + \sigma_2^2 r_{\tau}(d) + [T_t - \bar{T}_{\tau}(d)]^2 [1 - r_{\tau}(d)] + [T_{ct} - \bar{T}_{\tau}(d)]^2 r_{\tau}(d) \min^2 \quad (9.33)$$

где σ_c^2 - различие времен путешествия на грузовике без подъема, и σ_2^2 - различие времен путешествия на грузовике, используя подъем. Заметьте, что $\sigma_2^2 < \sigma_c^2$ и это неравенство усиливается, когда среднее время грузовика едет увеличения.

Теперь, мы готовы проанализировать пример.

Пример 9.2

Давайте обсудим следующую систему:

$$\mathcal{S} : \langle \mathcal{H} : i = 1, 2, \dots, n = 9, A_k = 0.88 \mathcal{Q} : A_w = 0.77, b = 1, 2, \dots, m; r \mathcal{J} : A_T = 0.97 \mathcal{N} : k >$$

для которого параметры эксплуатации следующие

$$\mathcal{P}(\mathcal{S}, \mathcal{D}) : \langle B_k = 0.82, Z' = 2.0 \text{ min}; \tau = 2.8; B_w = 0.86, T_t = 28.2 \text{ min}; U_T = 0.95 >.$$

Давайте прочитаем эти примечания.

Система $\mathcal{S}$ совков власти $\mathcal{H}$ состоит из 9 машин с установившейся доступностью 0,88. Система откатчиков $\mathcal{Q}$ не определена в числе $\langle m, r \rangle$, но тип был отобран относительно единиц погрузки, и у этого есть установившаяся доступность 0,77. У подъема $\mathcal{J}$ есть установившаяся доступность 0,97. Количество ремонта обозначает грузовики k , еще не был определен.

Второй набор параметров, $\mathcal{P}(\mathcal{S}, \mathcal{D})$, описывает процесс эксплуатации $\mathcal{P}$ системы оборудования, которая является функцией свойств оборудования в системе и решениях $\mathcal{D}$, принятых диспетчером грузовика. У этих параметров есть эти ценности: коэффициент доступности совков B_k 0.82, среднее время загрузки для совков Z' составляет 2,0 минуты, среднее время загрузки для запасных погрузчиков в 2.8 раза более длительно, чем для совков, коэффициент доступности грузовиков B_w 0.86, среднее время путешествия работы грузовика T_t составляет 28,2 минут, и номинал ежедневно поднимают использование, 0.95.

Давайте начнем анализ и вычисление системы. Сначала, мы рассматриваем систему без подъема.

• Анализ начнется с системы погрузки машин. Термин ‘загруженные машины’ использован рационально, потому что запасные части погрузки находятся в системе. Мы повторяем предположение, используемое в Примере 9.1, что количество колесных автопогрузчиков достаточно большое, чтобы сделать систему погрузки полностью надежной из точки зрения выполнения буксирующей задачи (всегда есть погрузчик, чтобы заменить единицу в неудаче). Позвольте примечанию $P(p)_{kd}$ означать вероятность, что d , $d = 0, 1, \dots, n = 9$ совков власти находятся в состоянии работы. Следующий набор уравнений важен для дальнейших дискуссий о system: 12

$$P_{kd}^{(p)} = (0.880)^9 = 0.316$$

$$P_k^{(p)} = 9 (0.880)^8 (1 - 0.880) = 0.388$$

$$P_k^{(p)} = 36 (0.880)^7 (1 - 0.880)^2 = 0.212$$

$$P_k^{(p)} = 84 (0.880)^6 (1 - 0.880)^3 = 0.067$$

$$P_k^{(p)} = 126 (0.880)^5 (1 - 0.880)^4 = 0.014$$

$$P_k^{(p)} = 126 (0.880)^4 (1 - 0.880)^3 = 0.002.$$

Эти вероятности показывают на рисунке 9.7. Остающиеся вероятности ниже 0.000.

• Вычислите среднее время погрузки как функция количества запасных единиц, работающих в системе погрузки. Мы повторяем формулу 9.1 здесь:

$$Z_n'(d, \tau) = Z_n' = Z'1 + (\tau - 1) \frac{d}{n}$$

Для системы, которую рассматривают:

$$Z' = Z' = 2.0$$

$$\begin{matrix} 0 \\ Z' = 4.0 \\ 5 \end{matrix}$$

$$Z' = 2.4 \quad Z' = 2.8 \quad Z' = 3.2 \quad Z' = 3.6$$

$$Z' = 4.4 \quad Z' = 4.8 \quad Z' = 5.2 \quad Z' = 5.6 \text{ минут} \quad \begin{matrix} 3 \\ 4 \\ 9 \end{matrix}$$

Таким образом среднее время погрузки для системы погрузки машин:

$$\bar{Z}_w = \sum_{d=0}^9 Z_d' P_{kd}^{(p)} = 2.4 \text{ min}$$

Пропорциональные коэффициенты в этих уравнениях могут быть взяты от треугольника Паскаля, например.

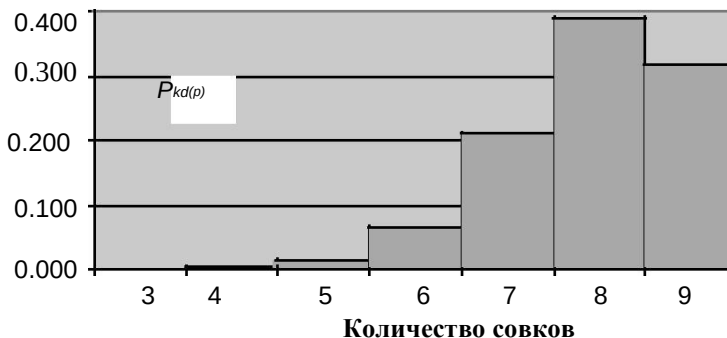


Рисунок 9.7. Распределение вероятности количества сгребают состояние работы.

- Вычислите число откатчиков в состоянии работы, которое необходимо, чтобы служить системе погрузки машин. Здесь мы имеем:

$$h = B_k n [(Z_w + T_c) / Z_w] = 94.1 \text{ грузовика}$$

Минимальному количеству грузовиков было нужно: $h/A_w \Rightarrow 123$

Применение модели Марианович и увеличение результата на грузовиках, направленных к яме 10% мы имеем:

$$< 1.1 \ m = 105; \ r = 28 >$$

и среднее количество грузовиков в состоянии работы - $E_{wkd} = 101.6$.

Заключение: 133 грузовика требуются, чтобы работать в шахте.

- Вычислите темп интенсивности потока ρ в системе погрузки машин. Применяя известную формулу мы имеем:

$$\rho = \frac{E_{wkd} Z_w}{n B_k T_i} = \frac{101.6 \times 2.4}{9 \times 0.82 \times 28.2} = 1.17$$

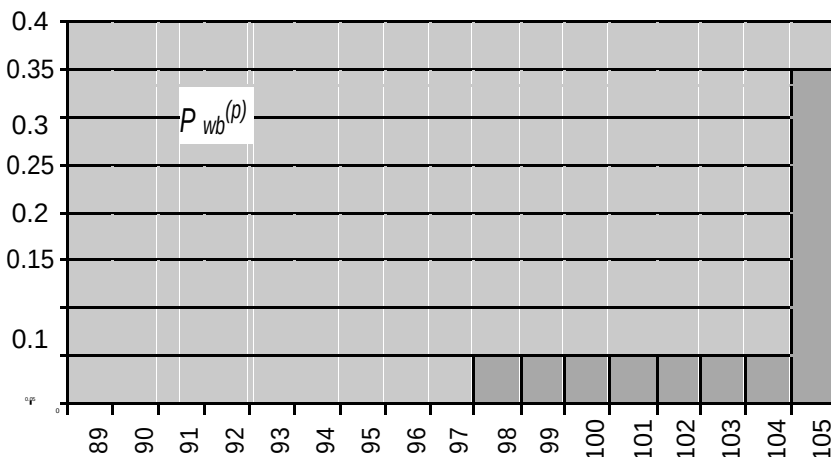
Заключение: машины погрузки должны быть действительно занятыми.

5. Теперь определите распределение вероятности количества грузовиков в состоянии работы для системы $<105, 28>$. Применяя модель Марианович, распределение может быть получено и оно дано в Таблице 9.3 и показано на рисунке 9.8.

6. Оцените распределение вероятности количества грузовиков при погрузке машин. Процедура - повторение рассуждения, используемого в Примере 9.1. Два стандартных отклонения необходимы, чтобы провести вычисления — стандартное отклонение погрузки времен и стандартного отклонения времени прохождения. Давайте предположим, что стандартное отклонение в течение многих времени прохождения - скажем, 15 минут и для загружая времена следующие отношения держатся: $\sigma_z = 0.3 Z'_n$.

Таблица 9.3. Распределение вероятности количества грузовиков в работе указывает для системы $< 105, 28 >$.

b	89	90	91	92	93	94	95	96
$P_{wb}(p)$	0.002	0.004	0.006	0.008	0.013	0.018	0.025	0.033
97	98	99	100	101	102	103	104	105
0.042	0.051	0.061	0.069	0.075	0.079	0.080	0.077	0.357



Количество грузовиков в состоянии работы

Рисунок 9.8. Распределение вероятности количества грузовиков в работе указывает для системы

$< m = 105, r = 28 >$.

Если так, мы находимся во владении всеми параметрами, необходимыми, чтобы выполнить дальнейшие расследования.

Формулы 9.5 к 9,7 остаются неизменными. Мы должны внести одно изменение в формулы 9.8а к 9,10 — система, проанализированная в Примере 9.1, состояла из 4 машин погрузки руды; однако, в системе, обсуждаемой здесь, у нас есть 9 пунктов погрузки. Таким образом номер 4 должен быть заменен 9, и число уравнений должно быть увеличено.

Условные вероятности количества грузовиков при погрузке машин получены из этого набора формул:

$$\begin{aligned}
P_{0d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_0^{0.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{1d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{0.5}^{1.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{2d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{1.5}^{2.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{3d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{2.5}^{3.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{4d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{3.5}^{4.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{5d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{4.5}^{5.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{6d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{5.5}^{6.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{7d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{6.5}^{7.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{8d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \int_{7.5}^{8.5} f_{5d}(x, b) dx \\
P_{9d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \left(\int_{8.5}^9 f_{5d}(x, b) dx + \Psi_{bd} \int_9^{9.5} f_{6d}(x, b) dx \right) \\
P_{>9d} &= \sum_j^{105} P_{wj}^{(p)} \kappa_{bd} \left(\Psi_{bd} \int_{9.5}^h f_{6d}(x, b) dx \right)
\end{aligned}$$

Этот набор действителен для данного номера d.

Результаты оценки условных вероятностей для данного набора параметров даны в Таблице 9.4.

Следующий условный параметр, который вычислит, является условным средним количеством грузовиков при погрузке машин. Это означает, очевидно, получен из уравнения, подобного уравнению 9.12, а именно:

$$E_{wd} = \sum_b^{105} P_{wb}^{(p)} \kappa_{bd} \left(\int_0^9 x f_{5d}(x, b) dx + \Psi_{bd} \int_9^b x f_{6d}(x, b) dx \right)$$

Кроме того, отношение $E_{wd}/n = 9$ было вычислено, чтобы получить информацию о сколько грузовиков, там будет в среднем за погрузку машины. Результаты вычислений даны в колонках 6 и 7 Таблицы 9.4. Заметьте, что, когда количество последовательной власти сгребает состояние уменьшения и среднее время погрузки увеличений из-за использования колесных автопогрузчиков как замены для совков власти, количество грузовиков при погрузке машин также увеличивается. Этот процесс наблюдается до момента, когда 4 совка власти находятся в неудаче, и среднее время погрузки прыгивает с 2,0 минут к 3,6 минутам. Это заставляет число откатчиков при погрузке машин увеличиваться до 31,14. Мы предполагаем, что диспетчер грузовика решил отозвать 10 грузовиков из ямы, таким образом, изменив структуру системы на $\langle m = 95, r = 38 \rangle$. Вычисление системы оборудования должно теперь быть повторено кроме системы погрузки машин, который остается неизменным. Применение модели Марианович дает новое распределение вероятности количества грузовиков в состоянии работы и среднего количества грузовиков в состоянии работы, которое является теперь $E_{vkd} = 94,9$ единицы. Отказ в этих 10 откатчиках к запасу означает, что среднее количество грузовиков при погрузке машин 24.38. Точно так же в следующем случае, где 5 совков власти находятся в неудаче и среднее время загрузки, увеличивается до 4,0 минут, предполагается, что диспетчер грузовика снова изымает 10 грузовиков из обращения. После вычислений среднее количество грузовиков при погрузке машин 21.56. Последняя колонка Таблицы 9.4 сообщает об эффектах оценки условного параметра времени потерь, который предоставляет информацию о том, сколько минут среднее время цикла грузовика должно быть расширено из-за бездействия грузовика, ожидая погрузки (cf. формула 9.14). Дальнейшие случаи не были исследованы, потому что у вероятности этих событий есть очень низкая вероятность, ниже 0.001. Все он результаты вычислений дано в Таблице 9.4.

- Теперь пора вычислить безоговорочные системные параметры. Применяя формулы, подобные уравнениям 9.15, с модификацией, что у нас есть 9 машин погрузки здесь (ранее был 4), безоговорочные вероятности могут быть оценены. Результаты этих вычислений также даны в Таблице 9.4. Поэтому распределение вероятности количества грузовиков, загруженных системой погрузки машин, может быть оценено, и это показывают на рисунке 9.9.

Вычисления дальнейших системных параметров могут теперь быть сделаны. Среднее количество грузовиков при погрузке машин определено:

Таблица 9.4. Параметры системы без подъема.

Условные параметры							Условные вероятности								
m, r	E_{wld}	d	$P_{kd}^{(p)}$	$Z_n(d, \tau)$	E_{wd}	$E_{wd}/9$	p_{3d}	p_{4d}	p_{5d}	p_{6d}	p_{7d}	p_{8d}	p_{9d}	$p_{>9}$	Δ_d
грузовики	грузовики	колич, способ- ные нести груз		мин	грузовики	грузовики / погрузочны									мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
105, 28	101.6	9	0.316	2.0	6.74	0.75	0.001	0.019	0.112	0.288	0.334	0.184	0.050	0.011	0.0
		8	0.388	2.4	8.3	0.92		0.001	0.016	0.084	0.218	0.289	0.202	0.190	0.2
		7	0.212	2.8	12.76	1.42				0.007	0.033	0.078	0.103	0.777	0.5
		6	0.067	3.2	22.37	2.49						0.003	0.005	0.991	0.2
		5		3.6	31.14	3.46								1	
95,38	94.9	5'	0.014	3.6	24.38	2.71								0.998	0.1
85,48	85	4	0.002	4.0	21.55	2.39								1	0.0
														Σ	1.0
Безусловные параметры							Нетрадиционные вероятности								
T_c	E_w	E_{wfk}	E_{wk}	θ	W_{efk}	W_{efw}		p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	$p_{>9}$	
мин	грузовики	грузовики	грузовики	грузовики / погрузочны	грузовики грузовика/ч	рабочая сила грузовика/ч									
31.6	101.4	7.8	9.9	1.1	195.0	195.2		0.006	0.042	0.125	0.197	0.187	0.122	0.321	

E_{wd} - условное среднее количество грузовиков у лопат d , способных загружать
 $E_{wd}/9$ - условное среднее количество грузовиков на 9 машинах, способных загружать
 P_{bd} - условная вероятность того, что на d погрузочных машинах есть b грузовики.
 $P_{>9}$ - условная вероятность того, что на 9 погрузочных машинах будет более 9 грузовиков.
 Δ_d - параметр условной потери времени
 T_c - средний рабочий цикл грузовика, включая потери
 E_{wkd} - условное среднее количество грузовиков в рабочем состоянии
 E_w - среднее количество грузовиков в рабочем состоянии

E_{wfk} - среднее количество нагруженных грузовиков
 E_{wk} - среднее количество грузовиков при погрузке машин
 θ - среднее количество грузовиков за погрузку машины
 W_{efk} - эффективная производительность системы машины погрузки
 W_{efw} - эффективная производительность системы грузовика
 P_b - вероятность, что есть b загруженные грузовики; $b < 4$
 $P_{>9}$ - вероятность того, что на 9 погрузочных машинах находится более 9 грузовиков.

Примечание: Значения параметров, выделенные жирным шрифтом, послужили основанием для изменения организации системы.

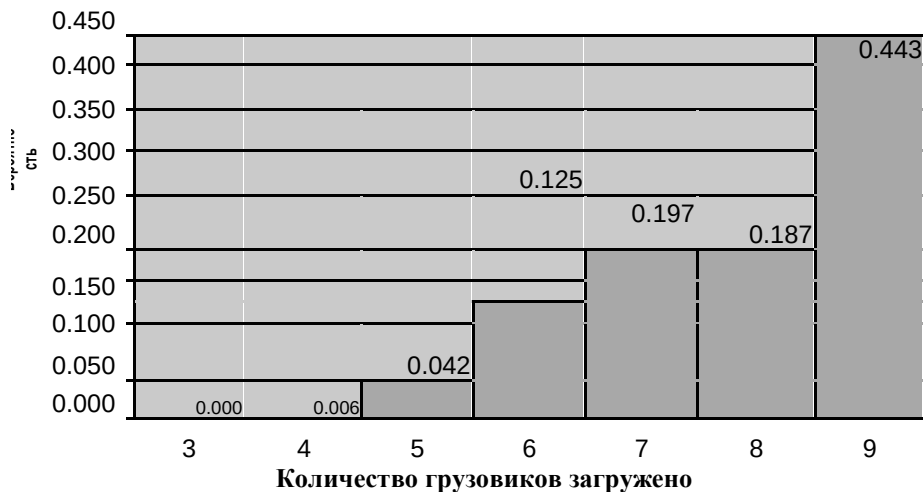


Рисунок 9.9. Распределение вероятности количества нагруженных грузовиков.

$$E_{wk} = \sum_d P_{kd}^{(p)} E_{wd} \quad (9.34)$$

и в исследуемом случае равняется 9.9.

Помните, два системных параметра зависят от решений, принятых диспетчером грузовика:

- среднее количество грузовиков в состоянии работы
- среднее количество грузовиков при погрузке машин.

Среднее количество нагруженных грузовиков машинами погрузки руды:

$$E_{wlk} = \sum_d dp_d = 7.8$$

Среднее количество грузовиков за пункт погрузки:

$$\theta = \frac{1}{9} \sum_d P_{kd}^{(p)} E_{wd} = 1.1$$

Среднее время цикла грузовика включая потери:

$$T = {}_c Z_w + T_l + \Sigma \Delta_d = 31,6 \text{ мин}$$

Среднее количество грузовиков в состоянии работы в системе:

$$E = 101.6_w (0.316 + 0.388 + 0.212 + 0.067) + 94,9 \times 0.014 + 85 \times 0.002 = 101.4$$

Две производительности системы рассмотрим:

- эффективная производительность системы машины погрузки

$$\underline{W}_{efk} = {}^{60} E_{wlk} = 195 \text{ грузовиков/ч}$$

Z_w

- эффективная производительность системы грузовика

$$\frac{W_{efw}}{T_c} = {}^{60} E_w = 195,2 \text{ рабочая езда/ч}$$

Кажется, что мы можем предположить, что производительность системы должна быть приблизительно 195 грузовиками/ч.

Давайте теперь считать случай с подъемом установленным в системе.

- Давайте начнем с вычисления, и анализ грузовика фракционировали $r_\tau(d)$ взятый подъемом, используя формулу 9.31. Давайте представим его как процент. Результаты вычисления следующие:

$$\begin{array}{llll} r_\tau(d=n) = 5.4 & r_\tau(d=n-1) = 6.5 & r_\tau(d=n-2) = 7.5 & r_\tau(d=n-3) = 8.6 \\ r_\tau(d=n-4) = 9.7 & r_\tau(d=n-5) = 10.8 & r_\tau(d=n-6) = 11.9 & \\ r_\tau(d=n-7) = 12.9 & r_\tau(d=n-8) = 14 & r_\tau(d=n-9) = 15.1 & \% \end{array}$$

Смотря на эти числа по крайней мере три вывода могут быть сделаны.

Подъем возьмет только приблизительно 5% к 15% потока грузовиков, циркулирующих в шахте (этот вывод будет улучшен позже).

Чем больше совков власти, которые находятся в неудаче, тем больше количество грузовиков, которые будут следовать подъемом. Объяснение прямое: чем больше власти сгребает неудачу, тем дольше среднее время погрузки; чем больше количество грузовиков в пунктах погрузки, тем меньше число путешествующих откатчиков.

Как количество грузовиков, следующих увеличениями подъема, среднее время уменьшений путешествия на грузовике, но там, будет увеличивать потери во время цикла работы грузовика из-за более длинного бездействия, вызванного грузовиками, ждущими погрузки.

- Вычислите среднее время путешествия на грузовике. Имея оценки части грузовика, взятой подъемом, оценка среднего времени путешествия на грузовике может быть сделана. Применяя формулу 9.32, все ценности интереса могут быть получены. Результаты вычислений даны в колонке 8 Таблицы 9.5.

- Следующие параметры, которые оценят, являются стандартными отклонениями, соответствующими со средними значениями. Оценка их может быть получена, применив уравнение 9.33. Таблица 9.6 содержит результаты вычислений. Поскольку результаты - немного удивления — стандартные увеличения отклонения несмотря на то, что больше путешествия на грузовиках посредством подъема — результаты вычислений конкретных компонентов уравнения 9.33 показывают в Таблице 9.6.

Стоит отметить, что только первый компонент в вычислениях стандартного отклонения уменьшается, когда количество грузовиков, распространяющих уменьшения, которые могли ожидать. С другой стороны остающиеся компоненты увеличиваются с растущей важностью подъема.

• Теперь примените модель Сивэзлиэна и Вана, чтобы получить параметры системы оборудования при погрузке машин.

Мы начинаем расследования, предполагая, что все совки власти возросли, и это означает, что у нас есть самое короткое среднее время погрузки. Мы используем формулы 9.5 для 9,7 учета новой ценности среднего, как определено формулой 9.32 и данный в колонке 8 Таблицы 9.5 для всех исследуемых случаев. Соответствующие стандартные отклонения, определенные формулой 9.33, показывают во второй колонке Таблицы 9.6. Эти ценности, очевидно, изменяются, когда подъем используется. Затем, формулы 9.8 к 9,13 применены, и результаты вычислений вставлены в Таблицу 9.5.

Таблица 9.5. Параметры системы Σ с подъемом.

Условные параметры										Условные вероятности									
m, r	E_{wd}	d	$P_{kl}^{(p)}$	$Z'_s(d, \tau)$	$r_{\tau}(d)$	$T_{\tau}(d)$	E_{wd}	$E_{wd}/9$	p_{sd}	p_{dd}	p_{sd}	p_{dd}	p_{7d}	p_{8d}	p_{9d}	$p_{>9}$	s_9	Δ_d	
грузовики	грузовики	компл. перевозимые грузы		мин	%	мин	грузовики	грузовики/погрузка									грузовики	мин	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
105, 28	101,6	9	0.316	2.0	5.4	27.2	6.98	0.78	0.001	0.011	0.081	0.249	0.343	0.224	0.072	0.019	2.04		
сост.	105, 28	101,6	9	0.316	2.0	7.0	26.9	7.06	0.78	0.001	0.011	0.075	0.235	0.338	0.234	0.082	0.025	2.00	0.0
			8	0.388	2.4	6.5	27.0	8.94	0.99		0.001	0.008	0.051	0.158	0.253	0.216	0.314	0.76	0.3
			7	0.212	2.8	7.5	26.8	15.95	1.77				0.002	0.011	0.029	0.044	0.913	0.06	0.5
		6	0.067	3.2	8.6	26.6	26.75	2.97							0.001	0.999	0.00	0.2	
85,48	85	5	0.014	3.6	9.7	26.4	18.94	2.1						0.001	0.003	0.996	0.00	0.0	
		4	0.002	4.0	10.8	26.2	25.98	2.89								$\equiv 1$	0.00	0.0	
																Σ	1.0		
Безусловные параметры										Безусловные вероятности									
T_c	E_w	E_{wk}	E_{wk}	θ	$F_{\tau}(d)$	W_{eff}	W_{eff}	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	$p_{>9}$					
мин	грузовики	грузовики	грузовики	грузовики/погрузка	%	грузовики/погрузка	работы ед./грузовик/ч												
30.3	101.2	8.1	11.2	1.2	7.1	202.5	200.8	0.004	0.027	0.094	0.170	0.179	0.120	0.405					

E_{wd} - условное среднее количество грузовиков у лопат d, способных загружать

$E_{wd}/9$ - условное среднее количество грузовиков на 9 машинах, способных загружать

P_{bd} - условная вероятность того, что на d погрузочных машинах есть b грузовики.

$P_{>9}$ - условная вероятность того, что на 9 погрузочных машинах будет более 9 грузовиков.

Δ_d - параметр условной потери времени

T_c - средний рабочий цикл грузовика, включая потери

E_{wk} - условное среднее количество грузовиков в рабочем состоянии

E_w - среднее количество грузовиков в рабочем состоянии

E_{wk} - среднее количество нагруженных грузовиков

E_{wk} - среднее количество грузовиков при погрузке машин

θ - среднее количество грузовиков за погрузку машины

W_{eff} - эффективная производительность системы машины погрузки

W_{efw} - эффективная производительность системы грузовика

P_b - вероятность, что есть b нагруженных грузовики; $b < 4$

$P_{>9}$ - вероятность того, что на 9 погрузочных машинах находится более 9 грузовиков.

$\Gamma_{\tau(d)}$ - поток грузовиков, захваченных подъемником

$\Gamma_{\tau(d)}$ - средний поток грузовиков, захваченных подъемником.

Примечание: Значения параметров, выделенные жирным шрифтом, послужили основанием для изменения организации системы.

Таблица 9.6. Результаты вычислений стандартных отклонений $\sigma_{\tau(d)}$.

d р. совки	$\sigma_{\tau(d)}$ минута	$\sigma_{2c[1-r_{\tau(d)}]}$ min2	$\sigma_{2r_{2\tau(d)}}$ min2	$[T_t - T_{\tau(d)}]^2 [1 - r_{\tau(d)}]$ min2	$[T_{cT} - T_{\tau(d)}]^{2r_{\tau(d)}}$ min2
n	14.24	185.44	0.49	0.91	15.98
$n-1$	14.28	183.33	0.58	1.3	18.74
$n-2$	14.32	181.21	0.68	1.74	21.36
$n-3$	14.35	179.1	0.78	2.25	23.85
$n-4$	14.38	176.99	0.87	2.81	26.2
$n-5$	14.41	174.88	0.97	3.43	28.42
$n-6$	14.44	172.76	1.07	4.1	30.51
$n-7$	14.46	170.65	1.16	4.82	32.48
$n-8$	14.48	168.54	1.26	5.59	34.32
0	14.5	166.43	1.36	6.4	36.04

Теперь, мы обладаем информацией о потерях, связанных с отсутствием грузовиков в пунктах погрузки.

Условное среднее число ненагруженных откатчиков, загружая машины определено простыми отношениями:

$$s_d = \sum_{j=1}^n j P_{(n-j)d} \tag{9.35}$$

который, для случая, который рассматривают (то, когда все совки власти находятся в состоянии работы, дает 2.04. Это - высокая стоимость, и поэтому наши предыдущие вычисления должны быть исправлены и повторены.

Фактическая производительность системы погрузки для d совков власти, которые в состоянии выполнять их обязанности, может теперь быть определена как:

$$W_{efd=nk} = \frac{n - s_n}{n} W_{pefik} \text{ trucks/h} \tag{9.36}$$

где W_{pefik} дан формулой 9.30.
Обратите внимание, что для $d = n$ мы имеем:

$$W_{pefik} = 270 \text{ грузовиков/ч}$$

тогда как на самом деле:

$$\text{Грузовики/ч } W = 208.8_{efd=nk}$$

что означает, что 23% снижаются.

Вычислите новую часть грузовика, взятую подъемом. Теперь:

$$r_{\tau}(d = n) = \frac{W_{pefT}}{W_{efd=nk}} = 0.07$$

Это означает, что подъем возьмет 7% потока грузовиков путешествия, немного более высокий процент, чем было ранее оценено.

Дублируя вычисления, новые результаты достигнуты, и их показывают в Таблице 9.5. Последняя колонка этой таблицы иллюстрирует средние потери времени в цикле работы грузовика из-за грузовика, ждущего погрузки.

Рассмотрев случай, когда все совки власти находятся в состоянии работы, теперь пора рассмотреть случай, где один совок власти снижается. Цепь рассуждений остается тем же. Результаты вычислений даны в Таблице 9.5.

Заметьте, что в конце информации о вычислениях о параметре s_d получен, указав, что эта потеря маленькая. Рассмотрите теперь отношение:

$$\frac{9 - s_8}{s_8} = 0.92$$

Этот результат сообщает нам, что 92% сервисных возможностей машин погрузки теперь используются, буксируя машины. Этот результат довольно хорош, и можно предположить, что нет никакой потребности повторно вычислить этот случай.

Следующий случай, который проанализирует, является ситуацией, где два совка власти находятся в неудаче. Результаты вычислений даны в следующем ряду Таблицы 9.5. Легко видеть, что пункты погрузки теперь в большой степени заняты — в 96% случаев, все машины погрузки будут заняты. Это - причина, почему нет никакой потребности повторно вычислить этот случай. Потеря времени немного больше (0,5 минуты), чем в случае с одной властью сгребают неудачу, но все еще очень маленький.

Теперь пора рассмотреть ситуацию, где три совка власти снижаются. Поскольку диспетчер грузовика не вмешивается и среднее время погрузки увеличений (поскольку больше колесных автопогрузчиков в действии), число откатчиков при увеличении пунктов погрузки. С вероятностью практически 1 всей машины погрузки заняты, и среднее количество грузовиков в пунктах погрузки - теперь приблизительно 3. Потеря времени все еще маленькая. Однако можно предположить, что диспетчер грузовика оценивает ситуацию с эксплуатацией в яме как немного неблагоприятную — слишком много грузовиков ждут праздно в пунктах погрузки. Поэтому мы можем предположить, что, когда новая и худшая ситуация происходит — четыре совка власти нуждаются в ремонте — он решит отозвать некоторых откатчиков из ямы.

Таким образом, рассматривая следующий случай, предполагается, что 20 грузовиков удалены из обращения, и новая структура системы $m = 85$, $r =$

48>. Эта организация системы заставляет среднее число откатчиков в работе указать $\cong 85$ должных такому большому размеру запаса (доказательство: модель Марианович). Заметьте, что, если количество грузовиков может быть предположено как постоянное ($b = \text{константа}$), формулы 9.8 к 9.12 упрощены и нет никакой потребности сделать суммирование по b . Применяя эти формулы, оценки основных условных системных параметров получены, и результаты даны в следующем ряду Таблицы 9.5.

Заключительный случай под следствием - ситуация, где только четыре совка власти находятся в состоянии работы. Давайте предположим, что диспетчер грузовика не вносит изменений в структуре системы. После известного способа рассуждать, оценены условные параметры системы, и результаты вычислений показывают в последнем ряду первой части Таблицы 9.5, которая касается условных вероятностей и параметров.

Мы не собираемся анализировать дальнейшие случаи, потому что вероятность их возникновения очень маленькая в ниже 0.001.

- Мы теперь в состоянии оценить безоговорочные системные параметры. Давайте начнем с вычисления безоговорочных вероятностей. Набор формул 9.15 (с маленьким регулированием в количестве пунктов погрузки в операции) полезен сюда предоставление:

$$\begin{aligned} p_4 &= 0.004 & p_5 &= 0.027 & p_6 &= 0.094 \\ p_7 &= 0.170 & p_8 &= 0.179 & p_9 &= 0.120 & p &= 0.405_{>9} \end{aligned}$$

Другие вероятности ниже, чем 0,001.

Средний цикл работы грузовика включая потери в пунктах погрузки:

$$T_c = \sum_d P_{kd}^{(p)} [Z'_n(d, \tau) + \bar{T}_\tau(d)] + \sum \Delta_d \quad (9.37)$$

и $T_c = 30,3$ минуты.

Среднее количество грузовиков при погрузке машин определено формулой 9.34, и здесь мы имеем:

$$E_{wk} = \sum_d P_{kd}^{(p)} E_{wd} \quad 11.2 \text{ грузовики}$$

Обратите внимание, что это число зависит от решений диспетчера грузовика.

Среднее количество грузовиков в состоянии работы определено уравнением:

$$E_w = \sum_d P_{kd}^{(p)} E_{wkd} \quad 101.2 \text{ грузовики}$$

Среднее количество нагруженных грузовиков:

$$E_{w\bar{k}} = \sum_d dp_d = 8.1 \text{ грузовиков}$$

Таким образом среднее количество грузовиков за погрузку машины:

$$E_{w\bar{k}}/9 = 1.24 \text{ грузовики/погрузчики}$$

Интересный параметр - средний поток грузовиков, текущих через подъем, который является:

$$\bar{r}_\tau(d) = \sum_d P_{kd}^{(p)} r_\tau(d) = 7.1\%$$

что означает, что подъем возьмет 7,1% полного потока в среднем, но только в его время распоряжения.

- Теперь вычислите продукцию системы.

Фактическая производительность системы погрузки машин:

$$W_{efk} = \frac{60}{Z_w} E_{w\bar{k}} = 202.5 \text{ груженные грузовики/ч}$$

Эта мера по производительности включает надёжность и совков и грузовиков и подлежащих выплате потерь к отсутствию грузовика в свободном совке.

Фактическая производительность системы грузовика:

$$W_{efw} = \frac{60}{T_c} E_{w\bar{k}} = 200.8 \text{ рабочая езда грузовика/ч}$$

Рассмотрение этих двух чисел, мы можем предположить разумно, что эффективная системная производительность должна быть приблизительно 200 грузовиками/ч.

- Заключение, рекомендации и замечания. Они могут быть разделены на конкретные заключения и более общие замечания.

Конкретные заключения связаны с изменениями в ценностях параметров базовой системы в результате применения подъема. Это следующие.

- Среднее время цикла работы грузовика было уменьшено на 4% с 31,6 минут до 30,3 минут:

- среднее время путешествия на грузовике уменьшается к 26,9 минутам

- среднее время, проведенное в очереди для погрузки увеличений из-за большего количества грузовиков при погрузке машин.

- Среднее количество нагруженных грузовиков увеличивается на 4% с 7,8 до 8,1.

- Среднее количество грузовиков при погрузке машин увеличивается на 13% с 9,9 до 11,2; есть также информация о средней длине очереди на грузовик в пунктах погрузки.

- Фактическая производительность машин погрузки и фактическая производительность системы грузовика увеличиваются на 2,6% с 195 до 200 грузовиков/ч.

Это более важные общие заключения, и это может быть сделано.

- Эффект применения подъема в системе выглядит небольшим на первый взгляд — среднее время цикла работы грузовика уменьшается немного (только на 4%), однако, этот результат применяется в среднем ко **всему** (101) откатчики 'непрерывно' в состоянии работы в яме.

- У этого уменьшения есть много важных и практических последствий, включая меньшее количество топливного потребления, меньшее число используемых шин и других запасных частей грузовика, сокращения интенсивного движения в яме, более высокой безопасности и меньшем количестве проблем обслуживания для дорог шахты.

- Использование погрузки машинных увеличений — есть больше грузовиков в пунктах погрузки (при условии, что диспетчер грузовика не отзывает некоторых откатчиков из ямы).

- Производительность системных увеличений, но есть вопрос относительно ли это увеличение

достаточно, чтобы возместить деньги, потраченные, чтобы купить, установить и управлять подъемом; фактор времени чрезвычайно важен здесь.



Возможно, как футуристическая идея, можно оценить суждение применения и наклоненный подъем типа TruckLift и дробилка в яме с передачей пояса для крупного открытого предприятия ямы. Сегодня у нас есть математические инструменты, чтобы вручить, который позволил бы такой системе быть проанализированной.

9.3 ПОТОК ИЗВЛЕЧЁННОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ С ПОДЪЕМНИКОМ.

Чрезвычайно важная проблема для каждой запланированной подземной шахты - дизайн подъема, который возьмет поток извлеченной скалы от данного подземного производственного уровня. Вот две критических общих проблемы:

- разработанный подъем должен иметь такую способность, что это может взять полный поток разрушенной породы, поставленной жилью шахты спускоподъемная установка

- разработанный подъем, вместе с мусорным ведром шахты, должен иметь такую способность, которая допускает почти безмятежное сотрудничество с горизонтальными системами перевозки, предоставляющими потоки извлеченной скалы в шахту.

Давайте посмотрим на поток скалы, поставленной шахте. Это - сумма единственных потоков, произведенных в рабочих очистных работах или

лицах. В зависимости от манеры горного извлечения можно отличить два типа потоков:

- непрерывный поток, в котором используются машина победы типа плуга, комбайн или непрерывный шахтер
- дискретный-и-циклический, в котором процесс победы сделан, взорвавшись.

Заметьте, что названия этих потоков указывают на то, какие виды вероятностных свойств связаны с конкретным типом.

Точно так же перевозка произведенного потока может быть:

- непрерывный (транспортируют конвейерами пояса, например),
- дискретный-и-циклический, когда перевозка рельса или транспортировка шины используются. Давайте рассмотрим оба типа перевозки более всесторонне.

Непрерывная перевозка

Как был доказан (см., например, Мэнзулу и Сэнфорда 1967, Буклен и др. 1968, Вианекки 1974, Павлович 1988, Антоняк 1990), поток скалы, текущей через системы конвейера, может быть удовлетворительно описанный Гауссовским процессом. Этот тип моделирования все еще используется несмотря на то, что некоторые проблемы, связанные с этим типом моделирования все еще, существуют 13

Давайте посмотрим на математические инструменты, которые будут использоваться в моделировании. По очевидным причинам нормальное распределение, которое может быть применено для имитации потока, должно быть усеченное двухсторонний и должно иметь верхний и нижние пределы. Левая граница - очевидно, ноль. Правая граница - пункт, который определяет физический максимум потока, который может быть обработан конвейером. В некоторых публикациях, расследующих эту проблему, никакие пределы не даны для нормального распределения потока извлеченной скалы. Такой подход может произвести ошибки, и иногда они могут привести к неправильным решениям.

Таким образом плотность распределения вероятности интереса:

$$f_z(z) = \frac{f(z)}{F(b) - F(0)} \text{ для } 0 \leq z \leq b = Z_{\text{макс}}. \quad (9.38)$$

$$f_z(z) = 0 \text{ в другом месте} \quad (9.39)$$

где:

$$f(z) = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(z - \omega_z)^2}{2\sigma_z^2} \right) \text{ для } -\infty < z < \infty \quad (9.40)$$

и:

$$F(z) = +\zeta \int f(v) dv$$

У параметров ω и σ_z есть известные значения, и они принадлежат распределению перед усечением. Заметьте, кроме того, что случайная переменная Z имеет физическое значение и обозначает поток массы за единицу времени.

Давайте определим два самых важных статистических параметра, связанные с этой плотностью распределения. Следующие отношения держатся (см., например, Niewiadomska-Kozieł 1972).

- Математическое ожидание случайной переменной Z :

$$E(Z) = \omega + \sigma_z (I/I)_0 \quad (9.41)$$

- Стандартное отклонение Z :

$$\sigma(Z) = \sigma_z \sqrt{\frac{I_2 - I_1}{I_0}} \quad (9.42)$$

• Из-за свойств характерной функции нормального процесса, этот тип процесса может быть всесторонне описан двумерным распределением, в котором важный компонент - автокорреляция. Автор этой книги не знаком ни с какой публикацией, показывающей результаты статистических расследований или относительно идентификации двумерного распределения или относительно автокорреляции. Кроме того, некоторые публикации (например, Firganek 1973) применяют различные типы моделирования функций с памятью о типе автокорреляции в их структуре. И кроме того, по данным Zur (1979 р. 132) поток скалы, текущей через конвейеры, является смесью нормального процесса (конвейер загружен), и много нолей, когда нет никакой массы на поясе.

где:

$$I_0 = \Phi_N\left(\frac{b-\omega}{\sigma_z}\right) - \Phi_N\left(\frac{-\omega}{\sigma_z}\right) \quad (9.43)$$

$$I_1 = \Phi_N\left(\frac{\omega}{\sigma_z}\right) - \Phi_N\left(\frac{b-\omega}{\sigma_z}\right) \quad (9.44)$$

$$I_2 = I_0 + \frac{-\omega}{\sigma_z} \Phi_N\left(\frac{\omega}{\sigma_z}\right) - \frac{b-\omega}{\sigma} \Phi_N\left(\frac{b-\omega}{\sigma_z}\right) \quad (9.45)$$

$\Phi_N(x)$ является стандартизированной плотностью распределения случайной переменной $N(0, 1)$

$\Phi_N(x)$ является стандартизированной функцией распределения случайной переменной $N(0, 1)$.

Заметьте, что общая масса несоответствия, сравнивая усеченное и неусеченные распределения определена формулой:

$$\Omega = \int_{-\infty}^0 f(z) dz + \int_b^{\infty} f(z) dz$$

Эта масса взята от неусеченного распределения, чтобы получить усеченное распределение, но общая масса все еще закрыта для единства. В профессиональных публикациях это было указано (см., например, Firkowicz 1970), что применение неусеченного распределения может удовлетворительно описать эмпирические данные, если масса несоответствия относительно мала, скажем, 5% или меньше общей массы.

Давайте обозначим $J_i(t)$ Гауссовский процесс, описывающий поток минерала, вытекающего из i -th, работающего лица. Этот процесс может быть выражен как

$$\{J_i(t), 0 \leq J_i(t) \leq J_{i\max}, t \geq 0; N(\bar{J}_i, \sigma_i)\}$$

Если все потоки от рабочих лиц непрерывны (перевозка конвейерами пояса), то полный поток массы, обеспеченной шахте, также Гауссовский. Среднее значение этого полного потока - сумма всех вливающих процессов, и различие - сумма всех различий. Таким образом:

$$\left\{ J(t) = \sum_i J_i(t), t \geq 0; N\left(\sum_i \bar{J}_i, \sqrt{\sum_i \sigma_i^2} \right) \right\}$$

Заметьте, что, рассматривая одно рабочее лицо, пределы усечения могут быть важными. Однако, если полный поток рассматривают, значение уменьшений усечения. Масса вероятности отказана с нуля, указав, что левой границей можно пренебречь в большинстве случаев. Кроме того, чем более рабочие лица, производящие потоки, тем меньше вероятность, что полный поток будет нолем. Очевидно, максимальный поток, который может быть взят главной линией конвейера, должен быть соответственно больше.

Давайте теперь рассмотрим как единицу времени 24-часовой день. Если так, мы должны проанализировать следующие отношения:

$$Z = \int_t \sum_i J_i(t) dt, \quad t \geq 0$$

С теоретической точки зрения, находя распределение вероятности случайной переменной Z , то, которое является стохастическим целым числом

от выполнения вероятностных процессов, чрезвычайно трудно в злость того, что здесь у нас есть известные Гауссовские процессы и что кроме того, они - постоянные. Однако ситуация не безнадёжна. В нескольких публикациях, сосредотачивающихся на свойствах общего количества, ежедневно производимого от данного производственного уровня, вызванного *производственная функция* (см., например, Севима и Цин Вана 1988а), было указано, что эта случайная переменная может быть удовлетворительно описана нормальным распределением. Давайте предположим, что эта случайная переменная определена формулой 9.38 вместе с ее сопровождающими уравнениями. Заметьте, что эта переменная - условная с технической точки зрения — при условии, что полный поток, произведенный определенным устройством, получается другим элементом оборудования. Также важно добавить, что эффекты надежности средств перевозки должны быть включены в эту переменную.

Циклическая перевозка

Мы исследуем классические железнодорожные перевозки. Давайте посмотрим на то, что происходит на разгружающейся станции, где масса от вагонеток свалена в мусорное ведро. Принимая длительный период во внимание времени, мы можем определить процесс разгрузки как с двумя состояниями: разгрузка — отсутствие разгрузки (см. рисунок 9.10). Это - известный процесс в надежности: это - процесс возобновления с конечным промежутком времени ремонта (см. Главу 5.1.2).

Поскольку расследования шахты показали, что эти две случайных переменные могут быть описаны нормальными распределениями. На основе этого заявления легко прийти к заключению, что сумма выполнения случайной переменной $T_{оон}$, очевидно, обычно распределяется.

Подведение итогов, можно предположить, что поток минерала, поставленного шахте ежедневно, является случайной переменной Гауссовского типа.

Теперь проблема состоит в том, чтобы рассмотреть, как смоделировать, проанализировать и вычислить остающуюся часть системы, которая включает подъем и мусорное ведро шахты — и как найти надлежащий объем этого горного сумматора.

Мы пренебрежем здесь процедурой выбора и дизайна спускоподъемной установки. Эта проблема требует отдельного и долгого обсуждения, возможно, столь же всестороннего как этот объем. Кроме того, эта проблема далеко вне области исследования этой книги. Тем не менее, вообще говоря, чтобы выполнить безопасность и технические требования, мы должны искать спускоподъемную систему — наличие соответствующей информации о производственной способности уровня — который *минимизирует предсказанную стоимость, связанную с подъемом одной тонны скалы за единицу времени в долгосрочной перспективе*. Это отличается немного от

критерия, сформулированного Севимом и Цин Ваном (1988а), который указал, что система, которую рассматривают, должна *минимизировать ожидаемую стоимость за тонну поднятой руды*. На первый взгляд этот последний критерий выглядит ясным и легко понятным. Однако это заявление непригодно по двум причинам. Во-первых, когда случайные явления рассматривают — и здесь у нас есть такой случай — 'ожидаемое' выражение обычно связывается со средней стоимостью (математическая надежда). Поэтому термин 'ожидаемый' должен быть заменен, скажем, 'предсказанным' или 'предсказанным'. Во-вторых, фактор времени отсутствует. Однако формулы, представленные в процитированных газетах, действительно включают время: в

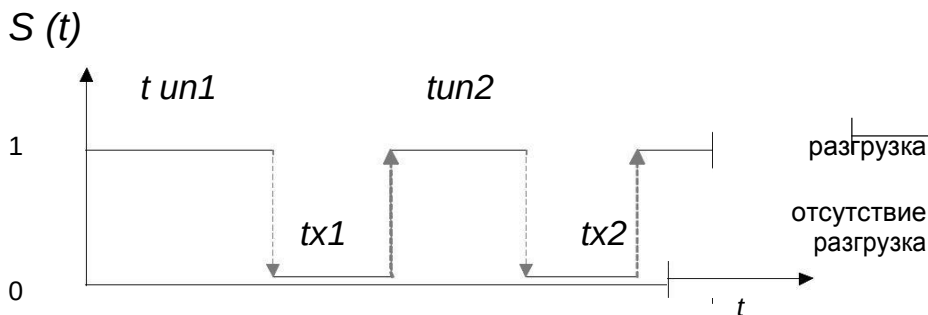


Рисунок 9.10. Процесс массового потока при разгружающейся стационарной поставке качается к мусорному ведру шахты.

Севим и Цин Ван 1988а это - год; во второй газете (Севим и Цин Ван 1988b) это - день. Легко видеть что объем мусорного ведра, измеряющий потребности день как единица времени. Давайте теперь посмотрим на первый критерий. Одному элементу нужно объяснение: *стоимость связалась с*. Есть по крайней мере две причины включать это выражение. Первоначально, если темп равномерного производства будет больше, чем спускоподъемная способность, увеличенная мусорным ведром за определенный период, некоторые рабочие лица будут остановлены, вызывая потери. Если перевозка рельса применена на уровне, или если есть много бункеров в системе конвейера, вероятность возникновения прекращения в лице уменьшена. Тем не менее, возможные производственные убытки должны быть включены в критерий. Во-вторых, калибровка и стоимость строительства мусорного ведра шахты непосредственно не связана со спускоподъемной способностью. Размер мусорного ведра - в первую очередь, функция параметров подъема и производительности. Все эти затраты непосредственно и косвенно связанный с подъемом называют как 'связанные затраты' здесь.

Давайте возвратимся к главной цепи рассуждений. Поток разрушенной породы, передаваемой шахте, должен быть взят подъемом. Это - циклически

управляемые виды транспорта и, поэтому, мусорное ведро должно быть построено перед входом в эту установку. Давайте посмотрим на транспортные возможности подъема.

Теоретическая продукция подъема (максимум) определена этой формулой:

$$W^{(h)} = \frac{Q_u}{\frac{thT^{(h)}}{c}} \quad (9.46)$$

где:

Q_u - полезный груз пропуска

$T_c^{(h)}$ - цикл повременной работы подъема.

Эта производительность может быть достигнута подъемом при условии, что нет никакого прерывания во время выполнения подъема задачи транспортировки и что всегда есть масса, чтобы виться.

Эффективная продукция подъема может быть оценена как:

$$W_{ef}^{(h)} = W_{th}^{(h)} E(X) A_h \quad (9.47)$$

где:

A_h - подъем установившаяся доступность

$E(X)$ среднее значение использования подъема в день.

Эффективная продукция подъема - детерминированная стоимость. Это - средняя производительность установки, которая, как могут ожидать, будет достигнута за длительный срок. Однако это - функция, которая зависит от случайной переменной X , для которого математическое ожидание - компонент правой стороны уравнения 9.47. Это правильно, потому что ежедневный W продукции подъема - случайная переменная, определенная как:

$$W = W_{th}^{(h)} A_h X \quad (9.48)$$

Теоретическая продукция подъема постоянная. Установившаяся доступность подъема - также детерминированная стоимость. Таким образом целая стохастическая природа процесса действия подъема связана с ежедневным использованием подъема, как выражено случайной переменной X . Поскольку эти первые два компонента правой стороны формулы 9.48 детерминированы, мы можем присоединиться к ним вместе. Этот новый параметр подъема - на самом деле исправленный подъем теоретическая продукция; исправленный установившейся доступностью подъема. Мы предполагаем теперь, когда с этого момента вся теоретическая производительность подъема в этой главе будет исправлена — то есть, они будут производительностью, которая является продуктом теоретической продукции подъема и установившейся доступности подъема.

Ценность X в конкретный день является отношением полного времени, проведенного на подъеме, выполняя задачу транспортировки (числитель, случайная переменная) ко времени распоряжения подъемом (детерминированная стоимость). Обратите внимание, что время, в течение которого остановлен подъем, может быть вызвано различными факторами — иногда это — отсутствие скалы, иногда это — отказ устройства, получающего груз от пропуска, в некоторых случаях карман меры является объектом ремонта и т.д. Давно это было указано (см., например, Чаплицкий 1977, и также Глава 5.3), что ежедневное использование подъема может быть описано бета распределением. Вспоминая формулы 5.31 мы имеем:

$$X: Be(a, b) \quad a > 0 \quad b > 0 \quad 0 \leq x \leq 1$$

$$f_X(x) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1}$$

и основные статистические параметры, связанные с этой случайной переменной, даны формулой 5.32.

Мы намеренно повторяем среднее здесь, которое является:

$$E(X) = \frac{a}{a+b} \quad (9.49)$$

и сюжет в качестве примера функции $f_X(x)$ (см. рисунок 9.11).

Имея в виду отношения 9.48 и информация о принятии во внимание о случайной переменной X , мы можем заявить, что плотность распределения вероятности случайной переменной W может быть определена как измененное бета распределение плотности распределения вероятности:

$$f_W(w) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \frac{1}{W_{th}^{(h)}} \left(\frac{w}{W_{th}^{(h)}} \right)^{a-1} \left(\frac{W_{th}^{(h)} - w}{W_{th}^{(h)}} \right)^{b-1} \quad 0 \leq w \leq w_{th} \quad (9.50)$$

Проблемой, которая имеет самое большое значение для производственного дизайна уровня, должен быть надлежащий выбор отношений между двумя плотностями распределения $f_Z(z)$ и $f_W(w)$. Во время процесса проектирования отобраны основные параметры подъема: полезный груз пропуска Q_u и кинематические особенности (скорость путешествия, ускорение и замедление), которые определяют цикл повременной работы подъема для данной глубины ветра. Таким образом максимальная продукция подъема определена. Переменная X , в свою очередь, может быть определена во время действия подъема, но у проектировщика должна быть некоторая идея средней ценности X и — лучше — некоторая идея соответствующего стандартного отклонения.

Эти ценности могут быть основаны на практике горной промышленности — взятый от ценностей этих параметров для сопоставимых подъемов, работающих в подобных условиях. Обычно, проектировщик может предсказать ценности среднего и стандартное отклонение случайной переменной X и может оценить структурные параметры функции вероятности⁴

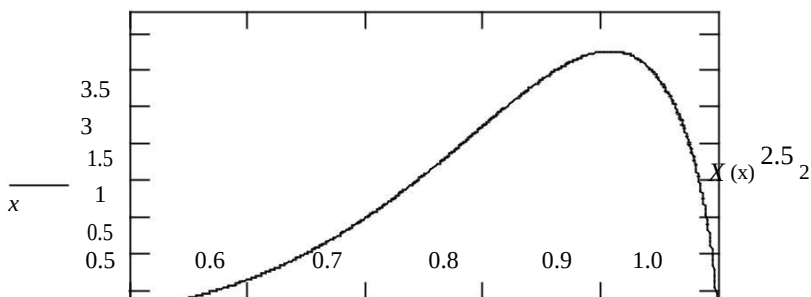


Рисунок 9.11. Сюжет в качестве примера плотности распределения вероятности использования подъема.

На практике опытный проектировщик обычно смотрит на среднее предсказанное производство и на глубине ветра, который в основном определяет цикл повременной работы подъема, и он предлагает полезный груз пропуска на основе этих двух самых важных параметров. Как правило, его знание в этом отношении развито по практике многих лет. Как правило, он не идет глубже в его рассуждении. Обычно, его предложение - вполне хорошее, но иногда не хорошо нацеленное.

Стоит помнить, что у плотностей распределения $f_z(z)$ и $f_w(w)$ есть различные знаки, особенно где их дисперсия затронута (см. рисунок 9.12).

Идею системы показывают на рисунке 9.13.

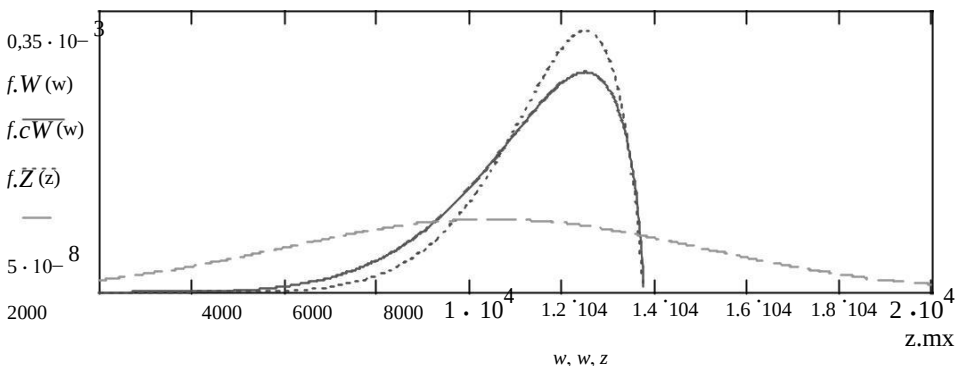


Рисунок 9.12. Плотности распределения вероятности ежедневного производства $f_z(z)$, ежедневная способность транспортировки подъема $f_w(w)$ и исправляемая ежедневная способность транспортировки $f_{cw}(w)$.

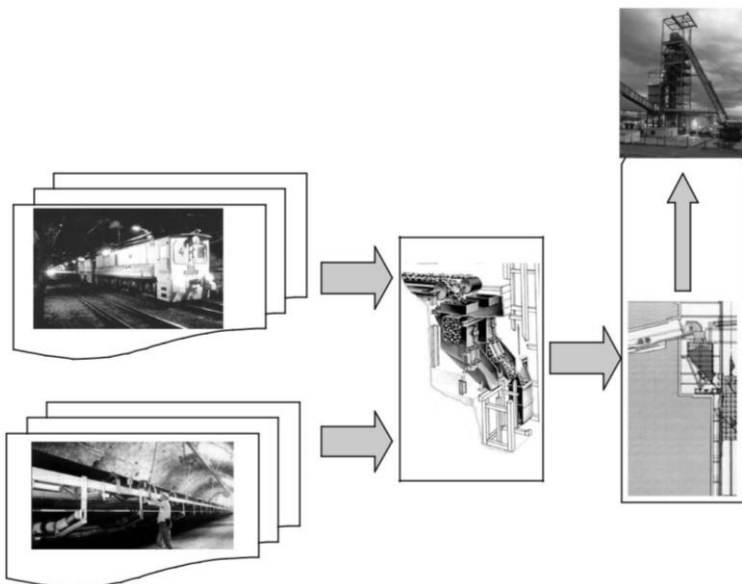


Рисунок 9.13. Горизонтальная перевозка — мусорное ведро шахты — поднимает систему.

Давайте теперь сравним оба свойства вероятности, которые характеризуют два типа перевозки: горизонтальный и вертикальный. Во-первых, рассмотрите следующую случайную переменную:

$$U = Z - W \mid Z > W \quad 0 \leq u \leq z_{mx} \quad (9.51)$$

Это - условная случайная переменная характеристика случаи, где производство превышает способность транспортировки подъема. Чтобы проанализировать эту переменную, нам нужна вспомогательная безоговорочная случайная переменная:

$$\Xi = Z - W \quad -w_{th} \leq \xi \leq z_{mx} \quad (9.52)$$

Очевидно, что распределение вероятностей Ξ дано по формуле:

$$F_{\Xi}(\xi) = \int_0^{w_{th} \xi + w} \int_0^z f_Z(z) f_W(w) dz dw \quad (9.53)$$

Эта мера, умноженная на 100, говорит нам для того, какой процент случаев вместимость транспорта подъема будет больше, чем поток скалы, поставленной шахте.

Теперь, мы можем определить плотность распределения вероятности условной случайной переменной U .

Мы имеем:

$$f u(u) = f \Xi(u) / [1 - F \Xi(0)] \quad (9.55)$$

Заметьте, что математическое ожидание $E(U)$ является условным предложением, средним, который дает следующую информацию: если поставленный поток скалы больше, чем поток поднятой скалы (все в день), то средняя ценность этого избытка равняется $E(U)$.

Отметьте также тонкую проблему. Анализируя проблему экономической оценки подъемов, Севим и Цин Ван (1988a, 1988b) заявили, что у производственной функции $f z(z)$ иногда есть длинный правосторонний хвост. Они заявили, что в таком случае рекомендуемая продукция подъема может быть очень большой. С теоретической точки зрения это рассуждение правильно. Однако с практической точки зрения это не работает. Если — на основе рабочих данных — у функции $f z(z)$ есть очень высокая ценность z_{mx} (длинный правый хвост), это означает, что система перевозки была сверхразмерной, и такого случая нужно избежать в каждом случае, потому что это означает, что большинство транспортных двигателей производственного уровня, который рассматривают, будет слишком многочисленным. На практике, часто $z_{mx} \approx E_z + 2\sigma_z$. С другой стороны, у плотности распределения $f u(u)$ обычно есть длинный правосторонний хвост (см. рисунок 9.14), имеет показательный характер и указывает на мусорное ведро большого объема. Эта проблема будет проанализирована позже.

Мы теперь в состоянии оценить следующее среднее значение:

$$\omega_0 = E(Z) - E(U) [1 - F \Xi(0)] \quad (9.56)$$

который является условным предложением, средним из продукции подъема при условии, что продукция потока руды больше, чем способность перевозки подъема.

Очень важный параметр - ожидаемая масса скалы, поднятой из производственного уровня. Это определено формулой:

$$L = E(Z) F \Xi(0) + (1 - F \Xi(0)) [E(Z) - E(U) (1 - F \Xi(0))] \quad (9.57)$$

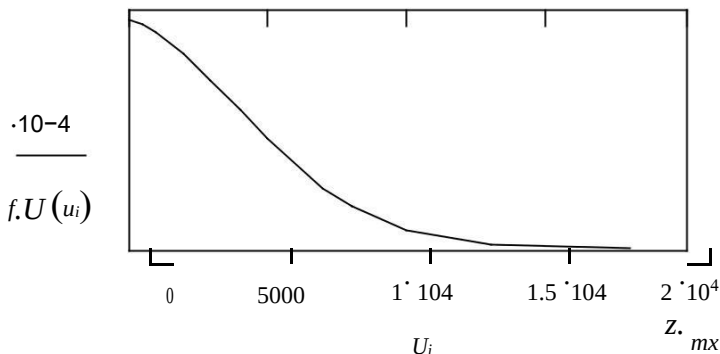


Рисунок 9.14. Сюжет в качестве примера условной плотности распределения вероятности случайной переменной U .

Заметьте что:

- система извлечения-и-перевозки, работающая на производственном уровне относительно существующей горной промышленности и геологических ограничений, *производит* полный поток скалы, добытой, который должен быть поставлен шахте; этот поток характеризуется плотностью распределения $f_z(z)$ со средним $E(Z)$

- система подъема характеризуется вместимостью транспорта функции $f_w(w)$ со средним $E(W)$

- строительство системы, состоящей из этих двух элементов, приведет к средней продукции этой системы, являющейся L , где, увы, $L < E(Z)$ и $L < E(W)$, который должен был однако ожидаться.

Теперь оцените, какая часть руды в процентах будет взята подъемом в среднем.

Постройте меру:

$$\chi_1 = 100 L/E(Z) \quad (9.58)$$

Мы можем также вычислить среднюю норму руды, которая не будет ежедневно подниматься, который является:

$$\psi_1 = E(Z) - L \quad (9.59)$$

Однако достаточно потратить

$$T_{CL} = \frac{\psi_1 T_c^{(h)}}{Q_u 60} \quad \min \quad (9.60)$$

убрать мусорное ведро, в среднем. Некоторые комментарии к этой остаточной массе в мусорном ведре будут сделанный в конце этих соображений.

Давайте рассмотрим проблему тома у мусорного ведра. Проблему выбора объема мусорного ведра шахты редко рассматривают в профессиональных

публикациях. Это было очевидно в Севиме и Цин Ване (1988b), и будет казаться, что эта ситуация постоянная. Причины, процитированные Севимом и Цин Ваном для того, чтобы не рассматривать эту проблему, состояли в том, что спускоподъемные системы считаются настроенными а не стандартизированными продуктами дизайна, и тема так специализирована, что только несколько компаний-производителей и консалтинговых компаний развивали необходимые экспертные знания, которые являются собственными. Однако, где калибровка мусорного ведра затронута, одна очень важная проблема была пропущена Севимом и Цин Ваном (1987, 1988a, 1988b) — анализ процесса притока массы в этот тип контейнера, временного накопления и сокращения массы в мусорном ведре и процессе оттока массы. Это - вероятностный процесс очень сложной природы с памятью и отставанием. Поэтому аналитические модели, прикладные здесь, более или менее упрощены. Иногда это явление просто непостижимо некоторым исследователям, который делает их рассуждение ложным (см., например, Яковского 1999). Природа процесса и трудности идентификации это соответственно указывает, что хорошее решение - применение метода моделирования наблюдать изменения в массе в мусорном ведре или воспроизвести операцию целой системы перевозки. Моделирование доказало свою полноценность и обычно применяется во многих странах (см., например, Вианекки 1974, Zaikang 1985, Линеберри и Пэтси 1987, Уэбстер 1989). Однако у моделирования есть свои собственные недостатки (такие как отсутствие возможности оценить ошибку, и это требует, в некоторых случаях, большого количества распределений вероятности, которые могут только быть оценены с ограниченной точностью). Поскольку некоторые определенные недостатки моделирования в связи с проектированием систем пояса видят Томпсона и Уэбстера 1988, и Севим и Цин Ван 1990a, 1990b.

Проблема калибровки мусорного ведра может быть исследована, представив:

- технический подход, исторически самое старое решение (см., например, Пил 1945, Чехович 1952), на основе технических правил и намеков, полученных от большого опыта добывающей практики
- подход моделирования, исторически 'последнее' прибытие, на основе имитации скалы вытекают из производственных лиц через средства перевозки к мусорному ведру, и иногда к дальнейшему пункту назначения
- аналитический подход, на основе математических моделей различной природы (см., например, Чаплицкий и Лутыского 1987, Севим 1987, Севим и Цин Ван 1988a, 1988b).

Обычно выглядит, как будто, ища логический объем сумматора руды шахты по крайней мере четыре гипотезы могут быть сформулированы.

- Смотря на отношения 9.51 к 9.55, мы можем сделать предложение, чтобы у был в отношении к условной средней стоимости $E(U)$, который является:

$$y = cE(U) \quad c \geq 1 \quad (9.61)$$

При учете того факта, что функция вероятности случайной переменной **Вы** можете быть приближены показательным распределением и если $c = 1$ принят, такой объем мусорного ведра позволяет мусорному ведру только брать приблизительно 63% случаев, когда поток поставленной скалы превышает способность транспортировки подъема (собственность показательного распределения).

Вместо отношений 9.61, может быть принято во внимание следующее уравнение:

$$y = E(U) + \sigma(U) \quad (9.62)$$

и такой объем мусорного ведра разрешает мусорному ведру брать приблизительно 85% случаев, когда поток поставленной скалы превышает способность транспортировки подъема (снова, собственность показательного распределения).

- Объем мусорного ведра должен быть относительно среднего времени T ремонта подъема, принимая во внимание производительность уровня, например:

$$y \geq [E(Z) + \sigma(Z)] (T/T)_{nd} \quad (9.63)$$

и это позволит приблизительно 83% этих случаев (ставки потока) быть взятыми (здесь, собственность нормального распределения включена). Обычно неудачи подъема, останавливающие выполнение задачи транспортировки, не настолько частые (меньше чем один в месяц для современных спускоподъемных установок). Обратите внимание, что этот критерий отличается от двух в гипотезе (а). Они основаны на повседневной практике, тогда как критерий выразил в отношениях 9.63 относительно редких случаев проблем.

- Модификацию гипотезы (b) можно рассмотреть. Предположите, что поток скалы средний в стоимости, но время ремонта расширено на среднюю ценность ремонта плюс соответствующее стандартное отклонение. Предположите очень несвоевременный случай, где распределение вероятности времен ремонта показательно, и в таком случае среднее и стандартное отклонение идентичны. Если так, формула 9.63 изменена к:

$$y \geq (2T/T)_{nd} E(Z) \quad (9.64)$$

- Объем мусорного ведра должен приспособить средний горный массив, который поставлен системой перевозки во время n , $n \in \mathbb{N}$, часы его действия, которое является:

$$y = n E(Z) \quad (9.65)$$

Несколько кратких комментариев необходимы относительно этой последней гипотезы. Это соглашение обязательно во время дизайна во многих добывающих странах. Существующие различия в этом отношении связаны с ценностью n . В некоторых случаях n включает половину изменения, иногда целое изменение. Этот принцип прост, и легко помнить, понять и применить. Однако это игнорирует отношения между потоком скалы, поставленной шахте и спускоподъемной способностью установки полностью. Таким образом в некоторых случаях у определенное уравнение 9,65 предположений n согласно добывающим инструкциям в операции — который является безопасным техническим решением — могут быть слишком большими, и в некоторых случаях недостаточно.

Обратите внимание, что несколько важных вопросов могут теперь быть сформулированы.

- Какие ценности должны быть предпочтены? Возможно, те ценности, касавшиеся большинства случаев?

- Что относительно тех решений, которые способствуют *недостаточному* подходу?

- Что такое причины решения, более или менее важна ли проблема мусорного ведра?

Давайте начнем, отвечая на последний вопрос. У нас есть интуитивное чувство что чем более важная проблема мусорного ведра, тем больше тенденция предпочесть решение, приспособляющее больше случаев. С другой стороны, одно заявление кажется бесспорным: чем больше продукция подъема относительно уровня производства, тем менее важен будет проблема мусорного ведра (как определено уравнением 9.61). Это будет доказано в Примере 9.4. Поэтому проблемой надлежащих отношений между функциями $f_z(z)$ и $f_w(w)$ является ключевой вопрос здесь. С другой стороны соглашение (b), который рассматривает надёжность подъема, кажется, не затронуто проблемой отношений между этими плотностями распределения. Таким образом кажется, что следующие заявления могут быть сформулированы: — если продукция подъема высока относительно производственной функции, критерий, выраженный уравнением 9.63, должен быть более важным — если продукция подъема не настолько большая относительно производственной функции, критерии, выраженные уравнениями 9.61 или 9.62, должны решить объем мусорного ведра.

Теперь, новая проблема возникает. Какие виды мер должны быть применены, чтобы оценить нормативно заявление: продукция подъема высока относительно производственной функции? У нас есть два различных распределения вероятности здесь. Кажется на первый взгляд, что математические ожидания обеих случайных переменных должны быть сравнены. Поэтому мера $\beta = E(Z)/E(W)$ дает нам информацию о количестве скалы, которая будет взята подъемом в среднем. На практике неравенство $E(Z) > E(W)$ держится. Чем ниже ценность β , около 1, тем меньший спускоподъемная способность установки относительно равномерного

производства. В таких случаях объем мусорного ведра должен быть большим. Заметьте, что сравнение двух распределений вероятности должно не только содержать суждение об их средних ценностях. С теоретической точки зрения должно также быть сделано сравнение соответствующих стандартных отклонений. Однако очевидно что $\sigma(Z) \gg \sigma(W)$. Часто, коэффициент изменчивости для случайной переменной Z в три раза больше, чем это для случайной переменной W . Также стоит заметить, что, в то время как проектировщик имеет некоторое влияние на средние ценности, он не имеет почти никакого влияния на дисперсию. Таким образом практический намек может быть сформулирован: имение никакого влияния на значение дисперсии, большая часть внимания должна быть обращена на дисперсию производства. Для высокой ценности стандартного отклонения Z объем мусорного ведра должен быть большим.

Давайте теперь предположим, что проектировщик решает, что объем мусорного ведра будет у тоннами и что такое мусорное ведро будет развернуто в системе. Какие последствия это будет иметь для параметров системы? Давайте проанализируем три простых вероятностных параметра.

Эта формула:

$$\int_0^y 100 + f_U(u) du \quad (9.66)$$

дает нам информацию о том, сколько случаев (в процентах) будет взято подъемом из-за применения мусорного ведра, когда производство будет больше, чем вместимость транспорта подъема.

Распределение безоговорочной случайной переменной Ξ в пункте y , умноженном на 100, который является $100F_{\Xi}(\text{год})$, дает нам информацию о проценте случаев, в которых вместимость транспорта подъема, 'увеличенного' существованием мусорного ведра, больше, чем производительность уровня.

Различие $F_{\Xi}(y) - F_{\Xi}(0)$ указывает в свою очередь, чем увеличение вместимости транспорта подъема происходит из-за применения мусорного ведра.

Давайте теперь определим случайную переменную R , который касается мусорного ведра в системе. Мы имеем:

$$R = W + y \quad y \leq r \leq y + w_{th} \quad f_R(r) = f_W(r - y) \quad (9.67)$$

Мы можем повторить нашу цепь рассуждений с начала этого пункта, и мы имеем:

$$\begin{aligned} H &= Z - R \mid Z > R \quad 0 \leq h \leq z_{mx} - y \quad y \leq r \leq y + w_{th} \\ H &= Z - W - y \mid Z - W > y \quad H = \Xi - y \mid \Xi > y \\ f_H(h) &= f_{\Xi}(h + y) / [1 - F_{\Xi}(y)] \end{aligned} \quad (9.68)$$

и:

$$E(H) = + h f_H(h) \text{ горячекатаный} \quad (9.69)$$

Это математическое ожидание - мера, которая сообщает нам о средней массе скалы, которая не может быть поднята в случае, где производство уровня больше, чем вместимость транспорта подъема, увеличенного существованием мусорного ведра тома у.

Точно так же формула:

$$L = {}_B E_Z F \Xi(y) + [1 - F \Xi(y)] [E_Z - E_H(1 - F \Xi(y))] \quad (9.70)$$

указывает на горный массив, который будет транспортироваться подъемом с мусорным ведром тома у в системе.

Как прежде, мы теперь оцениваем, какая часть руды в процентах будет взята системным подъемом плюс мусорное ведро шахты в среднем:

$$\chi_2 = 100 L/E_B(Z) \quad (9.71)$$

Мы можем также вычислить среднюю норму руды, которая не будет ежедневно подниматься, который является:

$$\psi_2 = E(Z) - L_B \quad (9.72)$$

Это - средняя из остаточной массы, остающейся после ежедневного производства. Это - также интересный системный параметр, указывающий, насколько хороший предложенный объем мусорного ведра. Ценность этого означает, должно быть соответственно низким. Помните, что, обычно, величина остаточной массы в мусорном ведре - случайная переменная. Если время, чтобы завершить эту массу приписано этой случайной переменной, на этот раз повороты быть дискретной копией (количество пропусков, требуемых удалить остаточную массу, является натуральным числом) для этой массы со ступившим распределением типа.

Это походило бы на все критические проблемы операции потока руды — мусорного ведра — система подъема была обсуждена, принимая во внимание ее стохастический характер. Но это не совсем верно.

Очевидно, что это было бы невозможно проектировать подъем с такой большой мощностью, что вся масса, которая может быть обеспечена шахте, будет всегда браться подъемом. Нет сомнения, что такая установка была бы сверхразмерной. Следовательно, мы можем ожидать, что подъем будет разработан

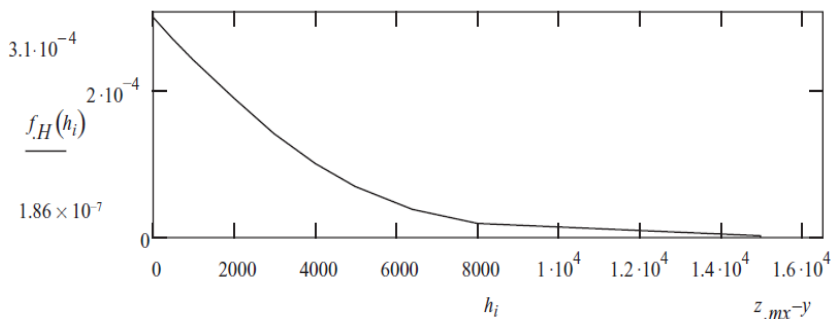


Рисунок 9.15. Сюжет в качестве примера условной плотности распределения вероятности случайной переменной H .

с более низкой спускоподъемной мощностью и, поэтому, некоторые потери неизбежны. Но до сих пор не было никакой меры, определенной, чтобы описать эти отходы.

Посмотрите на случайную переменную H . Это - условная переменная, описывающая массу скалы, которая является различием между потоком поставленной скалы и потоком скалы, поднятой при условии, что производство уровня больше, чем спускоподъемная способность установки плюс мусорное ведро тома y . У этой переменной есть верхний предел, который является $z_{mx} - y$. Сюжет в качестве примера плотности распределения вероятности $f_H(h)$ показывают на рисунке 9.15. Это - картина частоты возникновения потока скалы, которая не будет поднята, таким образом иллюстрируя потери. Заметьте, что эта функция для случая, который рассматривают запусками от частоты 0.0003 и из-за этого факта, мы можем быть уверены, что такие события так редки, что ими можно пренебречь. Это - также намек для Севима и Цин Вана, что не необходимо проектировать подъем с большой способностью.

Теперь пора рассмотреть эффект колебания массы в мусорном ведре. Есть два процесса интереса, который может наблюдаться в мусорном ведре. Есть временное накопление горного массива в мусорном ведре, когда вместимость транспорта подъема недостаточно для производительности потока массы, и *наоборот*. Когда производительность потока будет низкой, накопленный горный массив начнет перемещаться из мусорного ведра.

Вероятностная схема, которую рассмотрели до сих пор, была следующие. Полный горный массив, поставленный системой перевозки уровня, является z_1 в первый день, и полный поднятый горный массив является w_1 в этот день. Мы учитываем и сравниваем следующие пары: $\{z_y, w_y; y = 1, 2, \dots\}$. Тогда мусорное ведро включено в расследования.

Давайте теперь предположим единицу времени $T_c^{(h)}$ — цикл работы подъема. В это время:

- подъем транспортировал Q тонны скалы
- система перевозки поставила определенную сумму ∇q скалы и если:

$Q_u > \nabla q$, это означает, что есть меньше горного массива в мусорном ведре, чем прежде

$Q_u = \nabla q$, это означает, что общая масса в мусорном ведре осталась неизменной

$Q_u < \nabla q$, это означает, что есть на самом деле больше скалы в мусорном ведре, чем прежде.

У последнего пункта есть пределы. У мусорного ведра есть конечный объем и когда это полно, пункт с не держится. Аналогично, когда подъем взял последние тонны скалы и системы перевозки, поставленной значительно меньше, чем q тонны скалы, действие подъема остановлено.

Проблема теперь возникает относительно того, как включать эти временные колебания массы в процедуру вычисления.

Если мы приближаемся к этой проблеме с теоретической точки зрения, процесс колебаний массы - вероятностный процесс с задержками, памятью и пределами. Надлежащее определение и анализ проблемы чрезвычайно трудные. Попытка описания этого процесса и его экспертизы в области анализа временного ряда бесполезна. Единственный эффективный метод анализа этого вида процесса - цифровое моделирование, которое использовалось в горной промышленности больше сорока лет. Однако у моделирования есть свои собственные известные недостатки. И кроме того, если подъем — система мусорного ведра шахты разработанный относительно уровня производства прогноза (все пункты, не существующие в стадии проектирования проекта), все параметры неизвестны и могут только быть предсказаны. Нам поэтому характеризовала моделирование прогноза очень большая дисперсия (неуверенность), как правило. В этом виде ситуации есть высокий риск, который во время случайных ошибок процесса проектирования мог накопить предоставление сомнительных или даже неправильных результатов. У любых решений на основе этих результатов была бы высокая степень риска.

Однако пренебрегая всеми этими проблемами, давайте попытаемся оценить влияние этих колебаний массы в мусорном ведре.

Мы начинаем наши соображения из заявления, что из-за этих колебаний вместимость транспорта подъема будет больше, который очевиден. Ценности средств $E(U)$ и $E(N)$ будут ниже, тогда как L и N будут больше. Мы можем попытаться оценить эти изменения, принимающие во внимание то, что эффект колебаний массы эквивалентен в некоторой степени приращению в степени использования подъема. Время бездействия подъема, заставленное отсутствием скалы поднять, будет уменьшено. Поэтому модификация функции $f(x)$ должна быть сделана. Средняя стоимость $E(X)$ должна увеличиться; маленькое сокращение стандартного отклонения $\sigma(X)$ должно быть сделано. Мы можем предположить, что, проектируя мусорное ведро шахты тома $u = E(Z) + \sigma(Z)$ устраняем большинство случаев бездействия подъема из-за отсутствия скалы (в некоторых случаях $E(Z) + 2\sigma(Z) > z_{mx}$).

Поэтому математическое ожидание использования подъема может быть оценено как:

$$E_c(X) = E(X) + \{y [1 - E(X)]/2 [E(Z) + \sigma(Z)]\} \quad (9.73)$$

Маленькое уменьшение в соответствующем изменении может также быть сделано, но это значительно изменит полученные результаты. Все вычисления, сделанные вплоть до сих пор, должны быть повторены.

Рисунок 9.16 иллюстрирует предложенную процедуру.

Кроме того, стоит иметь идею приблизительно две регулярности:

- если объем мусорного ведра шахты был отобран по причине гипотезы (b), вычисления должны быть повторены до момента, когда у нас есть средний подъем плюс системная продукция мусорного ведра

- если объем мусорного ведра шахты был отобран по причине гипотезы (a), объем мусорного ведра обычно немного слишком большой; условная средняя стоимость $E(U)$ будет немного ниже на практике из-за колебаний массы — объем мусорного ведра не должен быть ниже, чем тот, следующий из расследований надежности.

Пример 9.3

- Есть данная производственная функция от определенного уровня подземной шахты на основе ежедневной работы. У этой функции есть эти параметры: $\omega = 10500$ t/d, $\sigma = 4500$ t/d, $z_{mx} = 20000$ t/d. Эту функцию показывают на рисунке 9.12. Из-за усечения с обеих сторон были удалены приблизительно 3% общей массы вероятности. Таким образом математическое ожидание спало до $E(Z) \cong 10420$ t/d, и новое стандартное отклонение также ниже в $\sigma(Z) \cong 4130$ t/d. Отметим, коэффициент изменчивости $\sigma(Z)/E(Z) = 0.40$; перед усечением это было 0.43.

- Средняя ценность использования была оценена в $E(X) = 0.82$, и соответствующее стандартное отклонение было оценено в 0,12. Используя эти оценки, чтобы найти оценку структурных параметров плотности распределения, мы имеем $a = 7.58$ и $b = 1.67$. Заметьте, что максимум плотности распределения вероятности (бета) $(-1) / (+b - 2) = 0.91$. Эту функцию показывают на рисунке 9.11.

- Постройте плотность распределения вероятности ежедневной продукции подъема $f_w(w)$. Во время методики проектирования установки подъема для полезного груза пропуска $Q_u = 22$ т, цикл повременной работы пропуска был оценен в $t_c = 92$ секунды. Таким образом теоретическая продукция подъема - $W_{th}^{(h)} \cong 13770$ t/d и фактическая производительность $\cong 11300$ t/d. Плотность распределения W показывают на рисунке 9.12. Стандартное отклонение случайной переменной W является приблизительно 1 650 t/d, и коэффициент изменчивости 0.15.

Во-первых, мы предпринимаем вычисления системы без эффекта колебаний горного массива мусорного ведра.

- Вероятность, что спускоподъемная способность превышает поток массы, обеспеченной шахте $100P(W > Z) \cong 56\%$ случаев. Это означает, что ситуация, где производство выходит за предел

Равномерное производство шахты

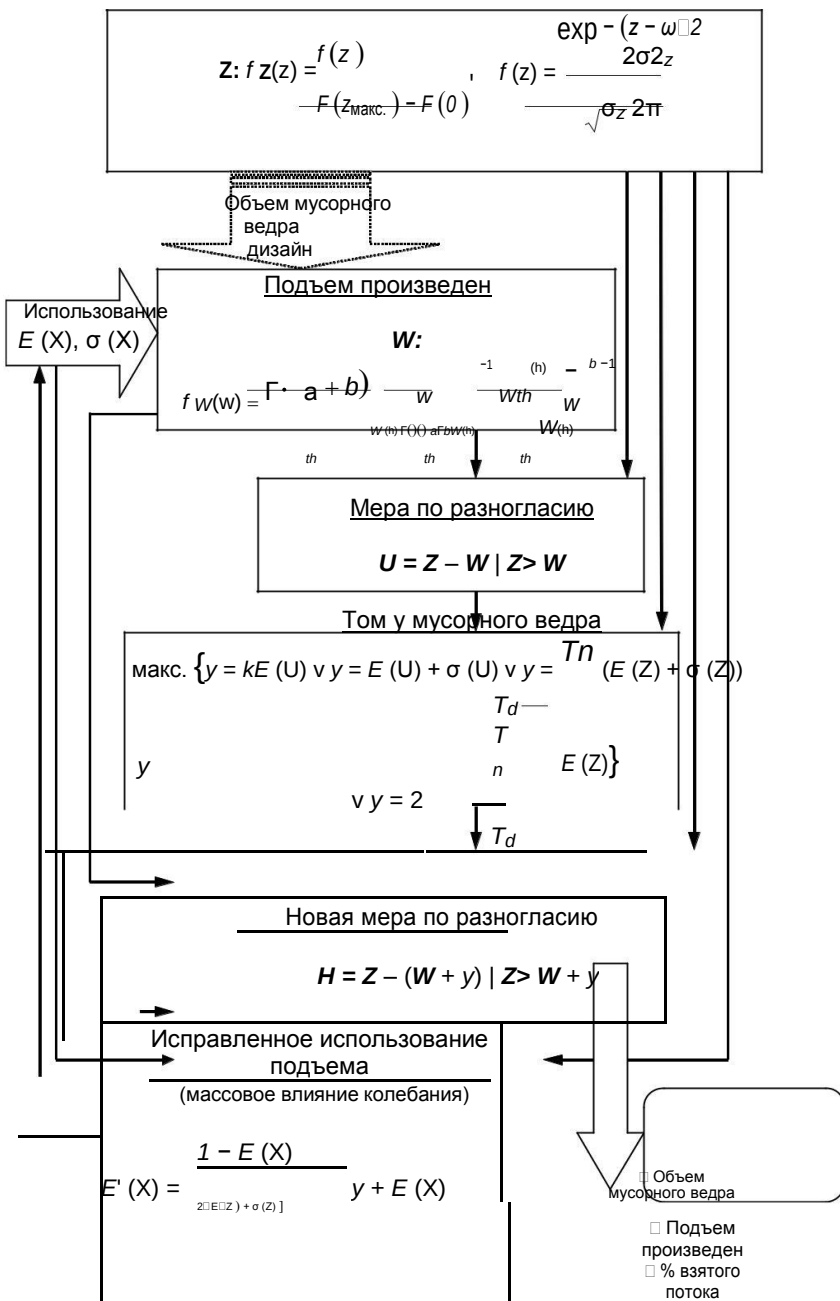


Рисунок 9.16. Процедура анализа, вычисления и определения объема мусорного ведра шахты.

спускоподъемная способность возникнет в 56% случаев. Условная средняя ценность этого избытка - $E(U) \cong 3600 \text{ t/d}$. Сюжет плотности распределения вероятности $f(u)$ показывают на рисунке 9.14. Условное предложение, среднее из продукции подъема при условии, что продукция потока руды больше, чем способность перевозки подъема, является $\omega_0 = 8840 \text{ t/d}$. Средняя сумма поднятой скалы является $L \cong 9730 \text{ t/d}$. Однако приблизительно только $\chi_1 = 93\%$ средней массы, обеспеченной шахте, будет поднят. Преобразовывая эту высокую стоимость $E(U)$ в ежедневную практику, результат - то, что о $\psi_1 = 700 \text{ т}$ скалы не будут ежедневно подниматься в среднем. Будет необходимо потратить $T_{CL} \cong 50$ минут, чтобы завершить эту массу. Это - очевидно, среднее время, и это довольно высоко.

- Теперь рассмотрите рекомендуемый объем мусорного ведра. Оцените надёжность.

В уравнении 9.63 рассматривают случай, где в течение среднего времени ремонта подъема есть такое накопление потока потока, что скорость потока жидкости равняется средней стоимости плюс соответствующее стандартное отклонение. Вероятность, что поток потока будет больше, является только 0,17. Это выглядит безопасным. Если следующий критерий рассматривают, из-за собственности показательного распределения, вероятности возникновения большего времени ремонта, чем предполагаемый тот является только 0,14. Это также кажется довольно безопасным. Давайте установим это, среднее время ремонта подъема составляет 2,3 ч. Эти два критерия приводят к очень отличающимся оценкам, а именно:

- Формула 9.63: $y > 2\ 100 \text{ т}$

- Формула 9.64: $y > 3\ 000 \text{ т}$

- Однако выглядит, как будто предложенный объем мусорного ведра для этой стадии рассуждения - $y = 3\ 600 \text{ т}$, который указывает на ценность $E(U)$.

Повторите вычисления включая мусорное ведро в системе.

- Во-первых, оценка должна быть сделана получить информацию в терминах процента в том, сколько случаев будет масса, обеспеченная шахте быть взятым мусорным ведром + система подъема. Вычисляя ценность распределения $F(y) = 0.82$ это означает, что увеличение составляет 26% по сравнению с одной только работой подъема. Мы можем также вычислить в том, сколько процента случаев — когда обеспеченная масса больше, чем спускоподъемная способность — масса будет поднята из-за применения мусорного ведра. Используя формулу 9.65 у нас есть 59%. Средняя сумма поднятой скалы является $L_B \cong 10\ 130 \text{ т}$, что означает, что $\chi_1 = 97\%$ горного массива, поставленного системой перевозки, будет взят мусорным ведром + система подъема. Средняя масса скалы, которая не будет взята подъемом, является теперь только 290 t/d . При сравнении с предыдущей соответствующей стоимостью, 700 t/d , положительное изменение явно видимо.

- Оцените эффект колебаний горного массива мусорного ведра.

7.1 Новый средний из фактора использования может быть оценен как 0,84 (от уравнения 9.73). Мы исправляем соответствующее стандартное отклонение, скажем, к 0,10. Для этих статистических параметров новые параметры плотности распределения 1.94 и 10.35. Обе плотности распределения — функцию от предыдущей части анализа и исправленного — показывают на рисунке 9.17. Максимум новой плотности распределения в $x = 0.88$.

7.2 Теперь, мы повторяем все вычисления, начинающиеся с новой способности транспортировки подъема, определенной новой плотностью распределения вероятности на основе результатов, представленных в пункте 7.1. Новая оценка фактической производительности подъема составляет 11 600 т/ч. Соответствующее стандартное отклонение уменьшено до 1380 t/d (ранее 1650 t/d). Все три плотности распределения, связанные с производительностью, даны на рисунке 9.18.

Условное среднее значение массы, которая не будет поднята, является 3470 t/d. Поэтому новый рекомендуемый объем мусорного ведра шахты, который может быть предложен, составляет 3 500 т.

- Выполнение вычислений соединилось с новым объемом мусорного ведра снова, мы получаем:

$100F_{\Xi(\text{год})} = 83\%$, что означает, что способность транспортировки подъема плюс мусорное ведро будет больше, чем поток руды, поставленной шахте — ожидаемая масса скалы, поднятой из производственного уровня $L_B = 10370$ t/d, является $\chi_2 = 99,5\%$ массы, освобожденной от рабочих лиц. Средняя остаточная масса — только 55 t/d, которые могут быть взяты тремя пропусками.

Система хорошо выглядит подобранная.

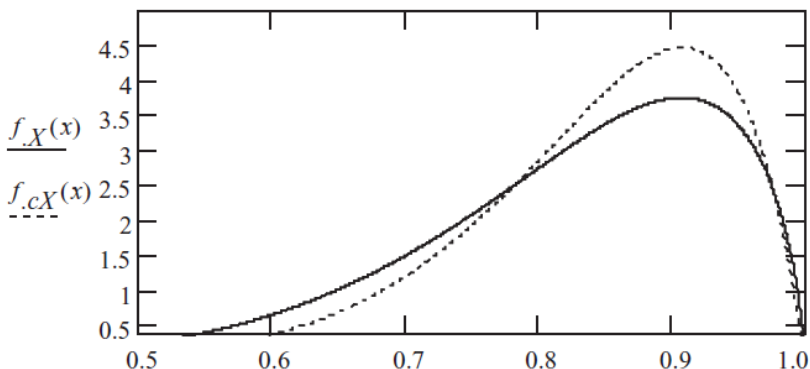


Рисунок 9.17. Плотность распределения вероятности использования подъема прежде и после исправления.

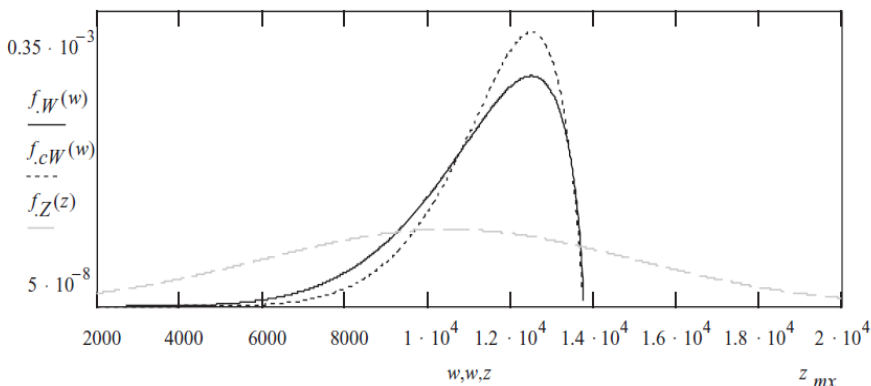


Рисунок 9.18. Плотности распределения вероятности ежедневного производства $f_Z(z)$, ежедневная способность транспортировки подъема $f_W(w)$ и исправляемая ежедневная способность транспортировки подъема $f_{cW}(w)$.

Большинство этих параметров собрано, и их показывают в колонке 4 Таблицы 9.7. Процедура, представленная в этом разделе и в Примере 9.3, требует некоторых комментариев. ◀

- Уровень добычи руды выражен средним и соответствующим стандартным отклонением. Это - основная информация о входе и для дизайна спускоподъемной установки и для выбора объема мусорного ведра шахты. Поэтому это - информация наибольшей важности.

- Предложенный метод анализа не точный; это только предоставляет приблизительную стоимость большинству параметров, но это дает возможность включать почти все стохастические явления в проводимое расследование.

- Многих интегралов, используемых здесь, нельзя выразить в явной форме. Таким образом результаты произведены использующим компьютеры определенная программа. В некоторых случаях у этих результатов есть только ограниченный уровень точности. В первую очередь, обратите внимание на массу вероятности. Иногда общая масса вероятности, вычисленной компьютером, может не равняться 1 (обычно, это немного больше, чем 1). Если так, необходимо осуществить функцию исправления. Поэтому некоторые оценки параметров - еще раз только приблизительные.

- Целое влияние колебания горного массива мусорного ведра обозначено только измененной плотностью распределения вероятности $f_{cX}(x)$. Это влияние полагается на смещение массы вероятности к правой границе, которая равняется 1. Этот математический инструмент очень полезен, но трудно на самом деле оценить, насколько хороший это.

Таблица 9.7. Результаты вычислений для трех систем относительно базовой системы.

Параметр	Единицы	Формула	(a)		(b)		(c)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
z_{max}	t/d		20000	Нет изменений	20000	18000	20000	Нет изменений
$E(Z)$	t/d	9.41	10420	Нет изменений	10420	10150	10420	Нет изменений
$\sigma(Z)$	t/d	9.42	4130	Нет изменений	4130	3900	4130	Нет изменений
$E(X)$		9.48	0.82	Нет изменений	0.82	Нет изменений	0.82	0.84
Q_u	t		22	26	22	Нет изменений	22	Нет изменений
$T_c^{(h)}$	s		92	Нет изменений	92	Нет изменений	92	Нет изменений
$W_{ef}^{(h)}$	t/d	9.47	11300	13350	11300	Нет изменений	11300	11570
100F $\Xi(0)$	%	9.53	56	72	56	58	56	58
$E(U)$	t/d	9.55	3600	3100	3600	3880	3600	3520
ω_0	t/d	9.56	8840	9540	8840	8510	8840	8960
L	t/d	9.57	9730	10170	9730	9460	9730	9810
χ^1	%	9.58	93	98	93	93	93	94
Ψ^1	t/d	9.59	700	250	700	690	700	610
ICL	минута	9.6	49	15	49	49	49	43
y	t	I ВЫБОР	3600	3000	3600	3900	3600	3500
100F $\Xi(0)$	%	9.53	82	88	82	83	82	83
LB	t/d	9.69	10130	10310	10130	9880	10130	10170
χ_2	%	9.7	97	99	97	97	97	98
Ψ^2	t/d	9.71	290	109	290	270	290	255
			ИСПРАВЛЕНИЕ		ИСПРАВЛЕНИЕ		ИСПРАВЛЕНИЕ	
$E_c(X)$		9.72	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.86
$W_{cef}^{(h)}$	t/d	9.47	11600	13660	11600	11640	11600	11840
100F $\Xi(0)$	%	9.53	59	74	59	61	59	61
$E(U)$	t/d	9.55	3470	2950	3470	3630	3470	3400
ωU	t/d	9.56	9000	9660	9000	8700	9000	9100
L	t/d	9.57	9840	10230	9840	9570	9840	9900
		II						
y	t	ВЫБОРО	3500	3000	3500	3600	3500	3400

		В							
100F									
±(год)	%	9.53	83	89	83	86	83	84	
L_B	t/d	9.69	10370	10410	10370	10130	10370	10370	
χ^2	%	9.7	99.5	99.9	99.5	99.8	99.5	99.5	
ψ_2	t/d	9.71	55	15	55	25	55	50	
TCL	минута	9.6	5	2	5	2	5	5	

• Представленная процедура полагается на всесторонний анализ и оценку стохастических свойств и параметров, которые характеризуют систему под следствием: поток массы поставил — мусорное ведро шахты — подъем. Необходимо включать экономические аспекты, смотря на эту проблему.

• Заявление, что определенное количество скалы, поставленной шахте, не будет поднято, потому что уровень производства превышает способность транспортировки подъема, не означает, что эта сумма не будет на самом деле поднята вообще. Есть две возможности для того, чтобы выгнать эту скалу с квартиры. Одна возможность полагается на расширение времени распоряжения (обычно не рекомендуемый, если это расширение будет долго). Второе решение состоит в том, чтобы держать эту массу в мусорном ведре и завершить его в начале первого изменения на следующий день. Обычно, в самом начале сменной добычи низкое, и эта остаточная масса скалы может быть выселена, не создавая волнения к производственному процессу уровня.

Пример 9.4

Имея этот полезный математический инструмент, более всесторонний анализ может быть сделан. Давайте предположим, что система, которую просто рассматривают, является основной, и мы интересуемся изменениями ценностей существенных системных параметров из-за:

- применение пропуска большего тома $Q_u = 26$ т
- применение главного конвейера меньшей ширины пояса, что означает сокращение максимального уровня потока, обеспеченного шахте $z_{\text{макс.}} = 18000$ t/d
- большее использование пропуска $E(X) = 0.84$.

Поскольку методика получения оценки конкретных системных параметров была уже представлена, это не будет повторено здесь. Таблица 9.7 содержит результаты вычислений. Некоторые числа довольно интересны, и они требуют комментариев.

Случай (а)

- Объем пропуска был увеличен на 18%, и эффективная продукция подъема увеличивается тождественно.
- Вместимость транспорта подъема значительно увеличивается относительно потока поставленной скалы: в 72% случаев спускоподъемная способность - больше, чем поток скалы, что означает увеличение почти 30% (72/56).

• Условная средняя масса скалы, которая не может быть взята подъемом, потому что его спускоподъемная способность ниже требований,

продиктованных уменьшениями равномерного производства на 16% (3 600 → 3100 t/d), который является около процента увеличения объема пропуска.

- Однако реальное увеличение производительности целой системы увеличивается только на 4,5% с 9 730 до 10 170 t/d.

- Значительное уменьшение наблюдается в остаточной массе — сокращение средней стоимости составляет 64% от 700 до 250 t/d, и этот результат так поразителен, что гипотеза может быть сформулирована, что — если только эта остаточная масса затронута — нам, вероятно, не нужен никакой горный сумматор.

- Этот вычет означает, что предложенный объем мусорного ведра нужно рассмотреть, приняв во внимание аспект надежности и, поэтому, $u \approx 3\,000$ т предполагались.

- Эффект строительства мусорного ведра такого объема в системе вызывает только небольшое изменение в ценностях системных параметров: например, производительность системы увеличивается только с 10 170 до 10 310 t/d.

Оценка колебания горного массива мусорного ведра.

- То же увеличение использования подъема было оценено; средняя стоимость теперь 0.84.

- Фактическая производительность подъема растёт до 13660 t/d и условной средней массы скалы, которая не может быть взята подъемом, потому что его спускоподъемная способность ниже требований, продиктованных производством уровня, остается почти неизменным в 2950 t/d.

- Этот результат означает, что объем мусорного ведра сохранялся: 3 000 т.

- Отобранная система должна дать производство 10410 t/d, которое составляет почти 100% массы, обеспеченной шахте, потому что средняя остаточная масса была оценена как 15 t/d только 14

Случай (b)

В этом случае мы предполагаем, что максимум потока скалы был уменьшен на 10% из-за некоторых проблем и поэтому $z_{\text{макс.}} = 18000$ t/d. Остальная часть параметров остается тем же.

- Средний поток поставленной скалы уменьшен на 5%. Случайно эти два средства остаточной массы идентичны. Наблюдайте числа, которые являются компонентами, чтобы вычислить, эти средние значения отличаются.

- Способность перевозки пропуска теперь превышает поток скалы, переданной шахте до большей степени, однако это - довольно маленькое увеличение от 56% до 58%.

- Тем не менее, условное предложение, среднее из массы скалы $\bar{U} \approx 3880$ t/d — почти 8%-го приращения — вызвано сокращением $z_{\text{макс.}}$.

- Точно так же неприятное изменение замечено в средней сумме поднятого L скалы ≈ 9460 t/d (3%-е сокращение). Однако по сравнению со средней массой, обеспеченной шахте, приблизительно $\chi_1 = 93\%$ из него будут подняты (никакое изменение). Преобразовывая эту высокую стоимость $E(U)$ в

ежедневную практику, результат - то, что о $\psi_1 = 690$ т скалы не будут ежедневно подниматься (по сравнению с 700 т в основном случае) в среднем.

- Рассмотрение условного среднего $E(U)$ предложенный объем мусорного ведра составляет 3 900 т (то есть, на 8% больше) результаты когда включая предложенное мусорное ведро в системе.

- Изменения в ценностях существенных параметров небольшие, но после исправления среднего использования $E_c(X)$, который был оценен тождественно (0.84), эффективная продукция подъема была оценена как больше, чем в основном случае — 11640 t/d (по сравнению с 11600 t/d).

- Однако средняя условная масса скалы $\Theta(U)$ является теперь 3630 t/d, и средняя сумма скалы подняла $L \approx 9750$ t/d

- Из-за $E(U)$ заключительный намек был сформулирован, предложив мусорное ведро объема на 3 600 т, который является приблизительно на 3% меньше, чем объем мусорного ведра в основном случае. Подъем + система мусорного ведра должна взять 86% потока, поставленного шахте, дающей заключительную продукцию 10130 t/d, которая является только на 2% меньше по сравнению с системой с большим $Z_{\max}$.

- Остаток означает, что масса почти незначительна в 25 t/d.

Случай (с)

Мы предполагаем теперь, когда все технические параметры неизменны, но — из-за лучшей организации — средняя ценность фактора использования была оценена в $E(X) = 0.84$ (только 2,4%) предоставление увеличения фактической производительности подъема той же суммой.

Главные изменения в системных параметрах следующие.

- В первой стадии исследований был предложен объем мусорного ведра 3 500 т, и позже это было уменьшено до 3 400 т, что означает 3%-е сокращение.

- Ценности остающихся параметров остаются неизменными или они только быть таким замечанием:

Замечание:

Переменная T_{CL} является дискретной, и поэтому время, чтобы удалить остаточную массу из мусорного ведра является случайной переменной, которая может быть описана двучленным или геометрическим распределением.

Несколько дальнейших примеров, которые были исследованы относительно изменений в ценностях использования, дали подобные результаты. Это дало территорию, чтобы сформулировать следующее предложение: объем мусорного ведра шахты может быть уменьшен, если фактор использования подъема выше. ◀

Процедура анализа потока скалы — мусорного ведра шахты — система подъема может быть полезным аналитическим инструментом, чтобы поддержать и пр

ГЛАВА 10

Специальная тема: гомогенность лопатно-транспортного средства



Однородность обычно понимается как качество того, чтобы быть подобным или сопоставимым натуральной или природе. Однородность системы грузовика совка понята здесь как однородность машин — то есть, их функции - то же, они выполняют идентичные обязанности, и их основные параметры отличаются случайным способом только.

Давайте посмотрим на проблему однородности более тесно.

Когда систему этого вида рассматривают, можно говорить об однородности в:

- объем коробок грузовиков
- объем погрузки машинных ведер
- время погрузки
- время разгрузки
- индексы надежности машин, выполняющих тот же тип работы
- вес, в смысле важности функций выполнен машинами.

С практической точки зрения введение новых машин, отличающихся от тех уже в использовании в шахте, производит неоднородность.

Применение новых и различных совков власти может изменить особенности системы. Система может иметь:

- различный объем ведер
- различные средние времена погрузки

– существенно отличающиеся ценности индексов надежности погрузки машин. Применение новых и различных грузовиков может заставить систему иметь:

- различные полезные грузы
- различные средние времена погрузки
- различные средние времена разгрузки
- существенно отличающиеся ценности индексов надежности

буксирующих машин.

Очевидно, система может измениться в обоих отношениях — введя различные совки власти и различные грузовики. В этом случае неоднородность системы больше.

Смотря на эти списки можно различать:

- неоднородность физических величин: объемы
- неоднородность параметров связалась со стохастической природой процесса эксплуатации системы: средства, индексы надежности.

Обычно, у каждой большей системы этого вида есть запасные машины погрузки. Они - колесные автопогрузчики. Если какой-либо совок власти снижается, фронтальный погрузчик принимает свои обязанности, заменяя неудавшуюся машину. Мы можем сказать, что в данный момент определенный вид неоднородности введен; у колесных автопогрузчиков обычно есть ведра меньшего размера по сравнению с совками власти и даже когда объем ведра - то же, у них есть более длительное среднее время загрузки — они должны маневрировать для погрузки. Кроме того, ведро совка власти порожняя тара, открывая откидную створку ведра (действие, занимающее короткое время); обычно необходимо наклонить ведро, чтобы освободить ведро колесного автопогрузчика (действие, занимающее более длительное время).

Если диспетчер грузовика решает, что данный тип извлеченной скалы буксировал от ямы — который является ненужным, или у руды — должен быть приоритет для удаления в течение определенного периода времени, неоднородность в операции системы также введена в данный момент.

Последствия существования запасных машин погрузки для системы обсуждены в монографии Чаплицкий 2009 года. Предполагалось, что количество этих запасных единиц достаточно высоко, что можно предположить, что эти дополнительные машины полностью надежны. Это решение основано на обычно известном принципе надежности: *если можно предположить, что есть почти всегда запасная единица, чтобы заменить неудавшуюся, систему провальных единиц можно рассматривать как полностью надежную*. Таким образом можно предположить, что пункты погрузки полностью надежны; однако, надёжность совков власти управляет стоимостью среднего времени погрузки. Необходимо отметить, что исследуется определенная схема: есть система гомогенных совков власти и есть система гомогенных запасных машин погрузки (колесные

автопогрузчики). Совки имеют определенную надёжность, поэтому они терпят неудачу случайным способом и если какой-либо совок власти снижается, колесный автопогрузчик заменяет неудавшуюся машину. Точно так же, если какой-либо колесный автопогрузчик снизится, будет новая единица этого типа, чтобы возобновить его обязанности.

В монографии Чаплицкий 2009 года еще один тип однородности исследован также — различие в важности типа буксируемой скалы. Его влияние на эффективность системы представлено в монографии.

Прежде чем расследования были начаты в связи с операцией этого типа системы оборудования, одно из предположений было то, что у всех машин погрузки есть идентичный полезный груз погрузки инструментов, и у всех грузовиков есть коробки того же объема. Однако это предположение иногда не сохраняется на практике.

Это - известное то, что системы грузовика совка используются в открытых горных работах, и действительно что это - главная область их использования. Однако есть некоторые карьеры, которые используют этот тип системы оборудования, такой как известная угольная шахта Эль Карреджон в Колумбии, где самая большая система оборудования этого вида в действии. Тем не менее, это - исключение, а не правило, потому что карьеры обычно применяют непрерывный тип оборудования. В самом начале действия шахты принцип считает, что все главные машины погрузки должны быть тем же, и все откатчики должны быть идентичными. Но иногда после периода моя операция, решение принято это из-за событий в технологии грузовика, есть инновационное предложение относительно рынка — новый грузовик со значительно лучшими параметрами, чем используемые в шахте и всех грузовиках будут последовательно заменены новым лучше и более крупными машинами. В некоторых случаях шахта решает применить более крупные машины, чтобы повысить производительность шахты (после того, как анализ, который указывает, что такое предприятие будет прибыльным).

Этого выключателя к лучше или более крупные машины немедленно не происходит. Это должно быть осуществлено последовательно. Есть два типа фактора, которые определяют этот план действий — экономические и технические. Не имеет никакого смысла отзывать все грузовики одновременно и заменять их новыми единицами. Обычно, откатчики в худшем условии заменены, но некоторые грузовики, которые находятся все еще в хорошем техническом состоянии, останутся в операции в течение определенного периода времени. Однако есть еще один существенный фактор. Эти новые грузовики более крупные, как правило. Если так, им нужно больше комнаты для вождения. Это означает, что маршруты транспортировки мины должны быть увеличены, и дороги должны быть расширены. Обычно требуется несколько месяцев, чтобы приспособить буксирующие дороги, чтобы ответить новым требованиям. Если некоторые маршруты более широки, но у некоторых маршрутов все еще есть старые размеры, некоторые старые грузовики могут быть отозваны и заменены новыми единицами, но некоторые старые

откатчики должны остаться в операции. Таким образом буксирующая система оборудования неоднородна.

Как количество новых больших увеличений грузовиков, управление шахтой должно полагать, что вводящие большие совки власти повышают производство. У новых откатчиков есть большие коробки погрузки, и это означает, что у новых машин погрузки также должны быть более крупные ведра. Таким способом неоднородность в системах погрузки начинается. Очевидно, эта ситуация может быть полностью изменена.

Давайте теперь проанализируем систему этого типа, в котором одна из характерных особенностей - неоднородность машин.

Можно предположить, что для данного типа погрузки машин, есть одно распределение вероятности, которое описывает дисперсию случайной переменной — время загрузки грузовика, но для данного типа откатчика. Поэтому будет столько же распределений вероятности, сколько есть типы откатчиков, используемых в системе. После этой цепи рассуждений можно легко прийти к выводу, что общее количество распределений вероятности погрузки времен является продуктом количества типов H погрузки машин и количества типов J буксирующих машин. Если мы наблюдаем процесс эксплуатации системы в течение достаточного количества времени, мы получаем $J \times H$ группы погрузки времен. Полевые расследования доказали (см., например, Колония и др. 2003, Райт 1998, Теменг 1988, Чаплицкий 1989), что распределение вероятности погрузки времен может быть удовлетворительно описано нормальным распределением. Поэтому, рассматривая распределение случайного переменного 'времени загрузки' у нас есть смесь нормальных распределений вероятности. Чтобы быть более точным, распределение вероятности случайного переменного 'времени загрузки' - составное.

Заметьте, что, если две случайных переменные, обычно распределенные, даны и если одна случайная переменная происходит с относительной частотой w_1 и имеет функцию распределения вероятности $f_1(x)$ и вторую случайную переменную, происходит с относительной частотой w_2 и имеет функцию распределения вероятности $f_2(x)$, то составная случайная переменная x этих двух переменных также обычно распределяется, ее функция распределения вероятности определена уравнением:

$$f(x) = w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x) \quad (10.1)$$

Имея это в виду простой вывод может быть сделан: распределение вероятности случайного переменного 'времени загрузки' можно рассматривать как Гауссовское.

Для системного анализа и для вычисления системы, два основных статистических параметра необходимы (Чаплицкий 2009): математическое ожидание и соответствующее стандартное отклонение случайной переменной, которую рассматривают.

Если $c = 1, 2, \dots, H$ обозначает текущий индикатор типа погрузки машины в операции, и $j = 1, 2, \dots, J$ обозначаю текущий индикатор типа откатчика, среднее время загрузки в системе может быть оценено от выражения:

$$Z = \sum_{i=1}^J \sum_{c=1}^H \bar{T}_{ci} w_{ci} \quad (10.2)$$

где T_{ci} - среднее время погрузки i -th типа откатчика c -th типом совка власти, и w_{ci} - относительная частота возникновения этого ci -th 'типа' погрузки.

Как оценщик стандартного отклонения интереса, может использоваться следующая формула (смотри Собчук 1996):

$$\hat{\sigma}_z = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_c \hat{\sigma}_{ci}^2 n_{ci}}{JH} + \frac{\sum_i \sum_c (z_{ci} - \bar{z}) n_{ci}}{JH}} \quad (10.3)$$

где:

$\hat{\sigma}_{ci}^2$ является оценкой различия в ci -th группе погрузки времен n_{ci} , количество погрузки времен, наблюдаемых в ci -th группе

z_{ci} - среднее арифметическое (время погрузки) ci -th группы

- среднее арифметическое всех наблюдаемых времен погрузки.

Первый компонент этой суммы - взвешенное среднее арифметическое различия в группах, тогда как второй компонент - различие между группами. Рассмотрение уравнения 10.3 простое заключение может быть оттянуто — чем более дифференцированный население, тем больше ценность его различия.

Зная принципы анализа и вычисления системы грузовика совка (Чаплицкий 2009), один важный вывод может быть сформулирован на этой стадии расследований:

Стоимость среднего времени загрузки, оцененного от формулы 10.1, не имеет никаких важных последствий для процедуры анализа и вычисления неоднородной системы за исключением ценностей параметров системы; ценность соответствующего стандартного отклонения погрузки времен значительно больше, чем для гомогенной системы, и этот факт важен.

Подобное расследование может быть повторено, приняв во внимание подсистему грузовика. Чувствуйте, что интересное место здесь - время прохождения для трофея — свалки — возвращение. Если у нас есть различные грузовики, у всех этих составляющих стадий цикла работы грузовика могут быть существенно отличающиеся времена. Обычно различные средние времена путешествия могут быть назначены для различных типов откатчиков. Снова, стандартные отклонения времени прохождения будут значительно больше для неоднородной системы, чем для гомогенной.

Поэтому кажется интересным выполнить анализ и оценку системной эффективности, исследуя большую дисперсию случайных переменных как компоненты анализа.

Пример 10.1

Давайте рассмотрим следующую систему оборудования:

$$\mathfrak{E}_1: < \mathfrak{H}: n = 7, A_k = 0.84; \mathfrak{B}: A_w = 0.648, \delta = 0.077, \sigma_p = \delta^{-1}, \sigma_n = 0.35 \gamma^{-1} >$$

для которого параметры эксплуатации:

$$\mathfrak{P}(\mathfrak{E}, \mathfrak{D}): < B_k = 0.82, Z' = 2,2 \text{ минуты}, \sigma_z = 0,8 \text{ минуты}, T_t = 18,5 \text{ минут}, \sigma_j = 8,7 \text{ минут}, \tau = 3 >$$

Система $\mathfrak{E}_1$ состоит из подсистемы $\mathfrak{H}$ совков власти $n = 7$ единиц. Установившаяся доступность совков $k = 0.84$ и коэффициент доступности совков $B_k = 0.82$. Система $\mathfrak{E}_1$ также состоит из подсистемы $\mathfrak{B}$ грузовиков с установившейся доступностью $w = 0.648$. Интенсивность неудач грузовиков - $\delta = 0.077 \text{ h}^{-1}$ со стандартным отклонением, равняющимся среднему, которое указывает на показательное распределение рабочих времен. Интенсивность грузовика восстанавливает, γ может быть вычислен от установившейся доступности w , если интенсивность δ известна. Стандартное отклонение времен ремонта - 0.35 из средних. Приспособленное среднее время загрузки - $Z' = 2,2$ минуты со стандартным отклонением $\sigma_z = 0,8$ минуты. Среднее время прохождения грузовика - $T_t = 18,5$ минут со стандартным отклонением $\sigma_j = 8,7$ минут.

Эта система была проанализирована в Чаплицкий 2009, Глава 13; однако интересное место тех исследований должно было показать влияние существования запасных единиц погрузки для систем¹.

¹По ошибке, в случае, проанализированном в той монографии установившаяся доступность пунктов погрузки, как предполагали, равнялись A_k . Это должно было быть 1 из-за существования запасных единиц.

Здесь мы расширяем эти соображения, принимая во внимание структурную неоднородность

система. Мы предполагаем теперь, когда система первая в наших соображениях. Мы проанализируем систему, для которой стандартное отклонение σ_z будет на 50% больше, чем для системы, и стандартное отклонение σ_j будет на 50% больше, чем для системы. Мы также проанализируем третью систему, у которой есть на 100% большие стандартные отклонения и σ_z и σ_j по сравнению с системой. Все другие системные параметры остаются неизменными.

Давайте начнем анализ. Начало анализа системы начинается с определения структурных системных параметров, включая количество грузовиков, которые должны быть предписаны выполнить задачу транспортировки, определенную машинами погрузки, количеством грузовиков в запасе и количеством стандов в ремонтной мастерской (достаточно большой, что очередь из неудавшихся грузовиков, ждущих ремонта, можно пренебречь).

Давайте вспомним, что формула для определения номера h грузовиков должна была выполнить задачу транспортировки, данную машинами погрузки. Смотря на формулу 9.3а, мы имеем:

$$h = nG^{Tt + Z' - nG(1 + \frac{1}{Z'})}$$

где:

G_k - совок власти, загружающий полный коэффициент

T_i - среднее время прохождения грузовика

Z среднее время погрузки грузовика

- коэффициент относительной интенсивности погрузки.

Поскольку предполагалось, что запасные единицы погрузки легко доступны и что всегда будет колесный автопогрузчик, чтобы заменить неудавшийся совок власти, доступность пунктов погрузки, как может предполагаться, 1. Таким образом $G_k = B_k$.

Если система грузовика совка неоднородна, формула должна быть изменена к:

$$h = (1 + \varpi^{-1}) \sum_{d=1}^n B_{dk} \quad (10.4)$$

Единственное изменение - то, что вместо того, чтобы умножить количество совков власти средним совком власти, загружающим полный коэффициент, особенность для всей власти сгребает шахту, мы делаем суммирование всего совка, загружающего полные коэффициенты. Таким способом неоднородность параметров совка эксплуатации принята во внимание.

Давайте вспомним, что номер h - ожидаемое количество грузовиков в состоянии работы. Поскольку h определяет количество идеальных, полностью надежных грузовиков, мы должны преобразовать наши соображения в реальную практику горной промышленности.

Если A_w обозначает среднюю установившуюся доступность грузовиков в целой системе, выражении:

$$V = h / \bar{A}_w \quad (10.5)$$

определяет общее количество грузовиков, необходимых, пренебрегая двумя пунктами:

- подразделение грузовиков в единицы предписало выполнять решительную задачу перевозки и запас
- доступность грузовика.

Дальнейшая основная часть процедуры включает анализ и вычисление условных системных параметров, тогда безоговорочные и, наконец, системная продукция. Поскольку методика рассуждения была представлена в Главе 9.1 и 9.2, это не будет повторено здесь.

Кажется более интересным представить некоторые системные параметры, которые иллюстрируют изменения в производительности системы из-за изменений в дисперсии отобранных случайных переменных. Таблица 10.1 показывает эти изменения. Это содержит случаи, где номер d власти сгребает состояние работы, варьируется от 7 до 0. Вторая колонка показывает соответствующие вероятности $P_{kd}^{(p)}$. У колонки три есть условный средний номер E_{wd} грузовиков при погрузке машин для данного количества власти, сгребает работу. Очевидно, если совки d выполняют свои обязанности, это означает это

Таблица 10.1. Параметры трех систем с различной дисперсией времен погрузки и путешествия на грузовике.

Система 										
Условные параметры										
<i>d</i>										
Способные совки	<i>Ewd</i>									<i>d</i>
загрузить	<i>p</i> (<i>p</i>)	Грузовики	$\frac{2}{p-1}$	$p_{3-й}$	p_{4d}	p_{5d}	p_{6d}	p_{7d}	$p_{>7}$	Мину та
	<i>kd</i>									
7	0.249	5.2	0.002	0.036	0.200	0.378	0.277	0.087	0.021	0.01
6	0.383	7.3		0.002	0.028	0.129	0.249	0.223	0.369	0.40
5	0.252	12.1			0.002	0.015	0.049	0.072	0.863	0.75
4*	0.092	12.2					0.006	0.018	0.975	0.37
3*	0.020	7.7					0.180	0.265	0.505	0.05
2	0.003	9.9					0.029	0.079	0.888	0.01
1	0.000	12.3					0.001	0.007	0.992	0.02
0	0.000	14.4							1	0.02
			Безоговорочные параметры							Σ
Среднее число из загруженных грузовиков:	<i>Ewlk</i>		p_3	p_4	p_5	p_6	p_7			
		6.30	0.010	0.061	0.147	0.182	0.599			

Система II										
Условные параметры										
<i>d</i>										
Способные совки	<i>Ewd</i>	Грузовик								
загрузить	<i>p</i> (<i>p</i>)	и <i>p</i>	$\frac{1}{1d}$	$\frac{1}{2-й}$	$p_{3-й}$	p_{4d}	p_{5d}	p_{6d}	p_{7d}	$p_{>7}$
	<i>kd</i>									
7	0.249	5.4	0.002	0.01	0.086	0.199	0.265	0.218	0.118	0.093
6	0.383	7.8		0.00	0.016	0.059	0.126	0.174	0.161	0.462
5	0.252	12.4		3	0.002	0.009	0.027	0.050	0.064	0.848
4*	0.092	12.4				0.002	0.009	0.023	0.039	0.927
3*	0.020	8.2			0.005	0.026	0.079	0.147	0.174	0.568
2	0.003	10.2				0.006	0.023	0.055	0.088	0.827
1	0.000	12.4					0.004	0.013	0.027	0.954
0	0.000	14.4						0.002	0.006	0.992
			Безоговорочные параметры							Σ
Среднее число из загруженных грузовиков:	<i>Ewlk</i>		p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7		
		6.25	0.00	6	0.028	0.075	0.124	0.139	0.628	

Условные параметры											
d											
Совки		p	p	p	p	p	p	p	p	p	d
способный загрузить $P^{(p)}$	Грузо- вики	0	1	2-	3-	4	5	6d	7d	>7	Мину- та
kd											
7	0.249	5.60.002	0.01 0.00	3	0.046	0.107	0.171	0.197	0.171	0.116	0.178 0.10
6	0.383	8.4	3	0.011	0.034	0.070	0.109	0.130	0.122	0.522	0.56
5	0.252	12.8		0.002	0.007	0.018	0.034	0.049	0.058	0.831	0.73
4*	0.092	12.8			0.003	0.009	0.020	0.034	0.046	0.886	0.33
3*	0.020	8.6		0.005	0.018	0.045	0.084	0.118	0.128	0.600	0.06
2	0.003	10.6			0.006	0.018	0.038	0.062	0.081	0.793	0.01
1	0.000	12.6				0.006	0.014	0.026	0.040	0.912	0.01
0	0.000	14.4						0.009	0.016	0.968	0.02

(Продолжение)

Таблица 10.1. Продолжение.

Среднее число из загруженных грузовиков:	E_{wlk}	Безоговорочные параметры						$\sum$	1.82
		p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	
	6.17	0.004	0.016	0.042	0.076	0.103	0.110	0.647	

E_{wd} – условное среднее количество грузовиков в d сгребаает способный загрузить

p_{BD} – условная вероятность, что есть b грузовики в d погрузка машин

$p_{>7}$ – условная вероятность, что есть больше чем 9 грузовиков в 9 машинах погрузки p_b – вероятность, что есть b загруженные грузовики; $b \leq 7$

d – условный параметр времени потерь

E_{wlk} – среднее количество нагруженных грузовиков

* – структура системы изменена

колесные автопогрузчики $n-d$ поддерживают действие погрузки. В следующих колонках представлены условные вероятности, и последняя колонка предоставляет информацию о потерях в цикле работы грузовика из-за очередей откатчиков в пунктах погрузки. В более низких разделах трех sub столов Таблицы 10.1 представлены безоговорочные вероятности p , которые дают информацию о вероятности, что b грузовики загружены. Результат вычисления среднего количества грузовиков, загружаемых в данной системе, показывают слева более низких разделов.

Необходимо отметить, что два изменения в организации системы были внесены аналогично как в случае, который рассмотрели в монографии Чаплицкий 2009 года. Первое системное изменение было, когда четыре совка власти смогли загрузить, и второе было, когда три совка власти смогли загрузить. Этот факт обозначен symbol*. В первом случае (три совка власти вниз) диспетчер грузовика решил изъять из обращения 10 и послать их в запас; во втором случае он забрал то же число снова.

Давайте посмотрим на числа в Таблице 10.1 и сделаем несколько комментариев. Легко обнаружить это, когда дисперсия растет:

- общее условное среднее количество грузовиков при погрузке машин $P_{kd}^{(p)} E_{wd}$ увеличения
- потеря времени в среднее время увеличений цикла работы грузовика
- среднее количество грузовиков загрузило уменьшения, как делает производительность системы.

Очевидно, ценности не важны; направления изменений крайне важны. Это стоящий добавления, что интересные изменения могут наблюдаться в распределении массы вероятности количества грузовиков, загруженных системой погрузки машин. Когда дисперсия растет, вероятность, что семь откатчиков переполнены, загружая машинные увеличения, но остающееся уменьшение вероятностей.

В конце расследований неоднородности системы грузовика совка стоит признать что вследствие того, что случайное переменное 'время загрузки' может быть удовлетворительно описано нормальным распределением, мы можем рассматривать целую систему оборудования как *гомогенную*. Оценка параметров интереса — то есть, среднее и соответствующее стандартное отклонение — должна непосредственно быть основана на образце, взятом от процесса эксплуатации системы и того, который является идеально — очевидно, лучшее решение — большая выборка.

Список литературы

Адачи, К., Кодама, М. и Охэши М. 1979. К п: G система с одновременной неудачей и три политика ремонта. Микроэлектроника и Надёжность, 19, 4: 351–361.

Адамкевич, W., 1982. Введение в рациональное использование технических объектов. WkiŁ, Варшава. (На польском языке). Агнарссон, Г. и Greenlaw, R. 2006. Теория графов: Моделирование, Заявления и Алгоритмы. Прентис Зал.

Эйкен, Г.Е. 1966. Роторные экскаваторы: как выбрать правильный для работы. Горная промышленность Разработки, 76–81.

Альберт, L., Кэмерон, А.М. и Gullick, J.W. 1975. Спускоподъемные заводы по производству Международного Никеля. ЭМ, Поднимая Конференцию, 29–52.

Олдос, D. и Shepp, L. 1987. Наименее переменное распределение фазы - Эрланг. Commun. Стэтистикэл-Сточес-тик Моделс, 3 года, 3: 467–473.

Андерсон, Т. и Randell, B. (редактор). 1979. Вычислительная надёжность систем. Cambridge Univ. Press.

Антоняк, J. 1990. Транспортные средства и их системы в подземных шахтах. S'la sk. Катовице. (На польском языке).

Антоняк, J., Чаплицкий, Я.М. и Лутыньский, А. 1973–75. Анализ надежности систем перевозки пояса высокопродукция. Исследовательская работа. Горная промышленность Института Механизации, Силезского Технологического университета. Гливице. (неопубликованный).

Антоняк, J., Бродзиньский, S. и Чаплицкий, Я.М. 1976–80. Расследования надежности оказания гостеприимства установок. Исследовательская работа. Горная промышленность Института Механизации, силезского Технологического университета. Гливице. (неопубликованный). Глоссарий Атис Telecom, 2000.

Ауригнак, R., Энгель, F. и Паром, D. 1968. Etude du roulage общая d'une эксплуатация miniere моделирование паритета sur ordinateur. Revue de l'Industrie Minerale, Octobre.

Бэйли, Дж.Х. и Михаил, W.F. 1963. Последовательное тестирование электронных систем. Proc. Энн. Симпозиум по Надежности, 391–400.

Барлоу, R.E. и Proschan, F. 1975. Статистическая теория тестирования надежности и жизни. Модели вероятности. Holt, Rinehart & Winston. Нью-Йорк.

Берет, V. и Льюис Т. 1994. Выбросы в статистических данных. Джон Вайли.

Баттек, J. 1965. Ремонт и рабочие времена конвейеров пояса с возвращением. We, giel Brunatny, 2: 123–128. (На польском языке).

Баттек, J., Дугка, K., Янцевский, K. и Рычликовский, E. 1969. Математическая модель системы KTZ (накопитель поясов конвейера совка) карьера. We, giel Brunatny, 2: 137–145. (на польском языке).

- Бэкстер, Лос-Анджелес 1985. Некоторые примечания по теории доступности. Микроэлектроника & Надёжность. R-25, 5: 921–926.
- Бэк, У. и Брием, У. 1995. Корреляция между жизнью предполагаемой и практической эксплуатации бегущих веревек. Уайр, 45 лет, 6: 333–335.
- Бичелт, Ф. и Фишер, К. 1979. На основном уравнении теории надежности. Микроэлектроника и Надёжность, Издание 19, № 4: 367–370.
- Белак, S. 2004. Теротехнология. Океаны '04. Техноокеан IEEE MTS' 04. Издание 1, выпуск 9-12, ноябрь: 201–204.
- Белак, S. и Синь-Шайн, D. 2005. Эволюция теротехнология понятия. Журнал Морских Исследований 1. Издание 19: 79–87. (На хорватском языке).
- Бедковский, L. и Дабровский, T. 2006, фонд Эксплуатации. Вторая часть. Фонды надежности эксплуатации. WAT, Варшава. (На польском языке).
- Баудури, В. и Basu, S.K. 2003. Теротехнология: разработка Надежности и управление обслуживанием. Азиатские книги.
- Биелка, R.P. 1960. Доступность — системная функция. Сделка ЯРОСТИ. Надёжность и Контроль качества, Издание RQC-9, сентябрь: 38–42.
- Биза, C.J. 2003. Горная промышленность Технического анализа. SME.
- Бишеле, И.В., Годжзмен, Э.И. и Саратовский Е.Г. 1964. Имитрующая математическая модель работы рудничного транспорта. ИГД Скочинского, Москва.
- Бобровский, D. 1985. Модели и математические методы в надежности. Примеры и упражнения. WNT, Варшава. (На польском языке).
- Боярский В.В. 1967. Введение в оценку надежности технических объектов. PWN. Варшава. (На польском языке).
- Боуфиша, А., Delaporte, V. и Лимниос, N. 1996. Evaluation numérique de la fiabilité des systèmes poly -markoviens. Journal Européen des Systèmes Automatiques, 30, 4: 557–571. (На французском языке).
- Боуфиша, А. и Лимниос, N. 1997. Метод распределения ph для оценки надежности Полумарковских систем. Слушания ESREL-97. Лиссабон, июнь: 2149–2154.
- Бозоргебрахими, Е., Холл Р.Э. и Блэквелл Г.Х. 2003. Калибровка оборудования для открытых горных работ — обзор критических параметров. Горная промышленность Технологии. Сделка. Inst. Минута. Metall. A, Издание 112: A171–A179.
- Брендер, Д.М. 1968a. Прогноз и измерение системной доступности: отношение к Bayesian. IEEE Сделка на надежности, R-17, 3: 127–137.
- Брендер, Д.М. 1968b. Оценка Bayesian системной доступности: перспективное применение и методы. Сделка IEEE на надежности, R-17, 3: 137–146.
- Бруш, Т.С. 1979. Тестирование на автокорреляцию в динамических линейных моделях. Австралийские экономические газеты, 17: 334–355.
- Брием, У. 2000. Корреляция между жизнью предсказанной и практической эксплуатации вовлекает в добывающих установках. Шахта Спускоподъемный

2000. Южноафриканский Институт Горной промышленности и Металлургии: 147–151.

Броди, С.М., Погосян, И.А. 1973. Вложенные Стохастические процессы в теории массового обслуживания. Киев. BS3811: 1993. Глоссарий терминов используется в Теротехнология.

Буклен, Е.Р., Суболеский, Южная Каролина, Preklaz, Л.Дж. и Лукас, J.R. 1968. Компьютерные приложения в системах подземной добычи. Издание 4, Программа BELTSIM, Отчет № 37 о Перспективной разработке, Политехнический институт Вирджинии.

Бусленко, И.П., Калашников, В.В., Коваленко, И.Н. 1973. Лекции по теории сложных систем. Изд. Советское радио. Москва.

Кастильо, Е. 1988. Теория экстремума в разработке. Academic Press, Inc Нью-Йорк.

Гинклар, Е. 1969. На Полумарковских обрабатывает на произвольных местах. Proc. Кембридж Philos. Soc., 66: 381–392.

Купер, R.B. 1972. Введение в стоящую в очереди теорию.

Кордер, G.W. и Диспетчер, D.I. 2009. Непараметрическая статистика для нестатистиков: постепенный подход. Вайли.

Кокс, Д.Р. 1955. Использование сложных вероятностей в теории вероятностных процессов. Proc. Кембридж Philos. Soc. 51: 313–319.

Кокс, Д.Р. и Смит, W.L. 1961. Очереди. Метуэн.

Крамер, Х. 1999. Математические методы статистики. Издательство Принстонского университета.

Кроуфорд, J.T. 1979. Совок и оценка грузовика перевозки. В: планирование и проектирование Карьера. SME. Чаплицкий, Я.М. 1974. На циклическом компоненте в процессе изменений состояний. Проблемы эксплуатации

Машины, 4: 545–555. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 1975. Значительная неоднородность в процессе изменений состояний элемента или системы во время цикла работы. Проблемы эксплуатации с Машинами, 4: 525–531. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. и Лутыньский, А. 1976. Анализ надежности оказания гостеприимства установок. Документы силезского Технологического университета, Горной промышленности, 69. Гливице.

Чаплицкий, Я.М. 1977. Анализ использования времени распоряжения В операции мои наматывающие машины. Конференция: моделирование наматывающей машины Шахты. Документы силезского Технологического университета, Горной промышленности, 80: 95–101. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 1978. Анализ корреляции между отобранными моими свойствами эксплуатации поднимает. Документы силезского Технологического университета, Горной промышленности, 92: 86–96.

Чаплицкий, Я.М. 1980. Автоматическое моделирование потока минерала, текущего через непрерывные транспортные системы. VI Международной Горной промышленности Autom. Конференция, Катовице, Издание II. Май 12–17: 164–171. (На польском языке).

- Чаплицкий, Я.М. и Бродзинский, S. 1980. Тестирование надежности польских наматывающих машин. Опекун угольной шахты, январь: 38–39.
- Чаплицкий, Я.М. 1981. Процесс эксплуатации мои наматывающие машины. Конференция по Эксплуатации мое Оборудование. Врослав: 273–281. (На польском языке).
- Чаплицкий Дж.М. и Лутыньский А. 1982. Вертикальный транспорт. Проблемы надежности. Учебник силезского Технологического университета. № 1052. Гливице. (На польском языке).
- Чаплицкий, Я.М. 1985. Определенная модель надежности, диагностической из объектов возобновления. Микроэлектроника & Надёжность, 4: 695–698.
- Чаплицкий, Я.М. и Лутыньский, А. 1987. Горизонтальный транспорт. Проблемы надежности. Силезский Технологический университет. Учебник № 1330, Гливице. (На польском языке).
- Чаплицкий, Я.М. 1989. Примечания от расследования надежности Nchanga Открытая Яма 1986 1988, Медный пояс.
- Добывая технический отдел университета Замбии, (неопубликованной) Лусаки.
- Чаплицкий, Я.М. и Теменг, V.A. 1989. Расследование надежности системы грузовика совка в открытой яме Nchanga. Международный Симпозиум по Перевозке вне Шоссе в Карьерах. Эдмонтон, 15-17 мая: 105–110.
- Чаплицкий, Я.М., Лутыньский, А., Carbogno, A., Паларский, J. и Zmysłowski, T. 1990. Теоретические основы для Интегрированной Транспортной системы для глубоких шахт. Горная промышленность Института Механизации силезского Технологического университета. Исследовательская работа GR-726/RG-2/90.
- Чаплицкий, Я.М. 1994. Критические замечания по аналитическому моделированию потока минерала конвейера пояса. Документы Добывающего Института Технологического университета Wrocław. Proc. Конференции по Основным проблемам моя Транспортировка. Szklarska Poreba, 5-8 октября: 95–107. (На польском языке).
- Чаплицкий, Я.М. 1999. Случайная составляющая автокорреляция в процессе накопления трещин проводов спускоподъемных веревок. Конференция по Горной промышленности 2000. Документы силезского Технологического университета: 71–77.
- Чаплицкий, Я.М. 2000. Расследование случайной составляющей автокорреляции в процессе накопления проводных перерывов в спускоподъемных веревках. III Конференций по экономичным энергией и Надежным Машинам Шахты. Документы силезского Технологического университета, 246: 71–77.
- Чаплицкий, Я.М. 2004а. Метод системного вычисления конвейера дробилки грузовика совка. 5-й Международный Симпозиум по Добывающей Науке и технике, Сюйчжоу, Цзянсу, P.R., Китай, 20-22 октября: 787–792.

Чаплицкий, Я.М. 2004b. Элементы теории и практика циклических систем в горной промышленности и земляных работах. Силезский Технологический университет. Учебник. Гливице. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 2004с. Метод „наклоненного к совку к-грузовику подъема” системное вычисление. *Górnictwo Odkrywkowe* (Горная промышленность Поверхности), 7–8: 71–75.

Чаплицкий, Я.М. 2005. На системе: “поток минерала — мусорного ведра шахты — поднимает” относительно классического дизайна установки подъема. Слушания Международной конференции “Транспорт Шахты 2005”. Закопане, 21-23 сентября: 17–31. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 2006а. Надёжность и свойства процесса эксплуатации приостановленных дизельных сумасшедших LP 90 PIOMA. Механизация и Автоматизация Горной промышленности, 3/422: 21–26. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 2006b. На выбросах в расследованиях надежности мое оборудование. Бумаги силезского Унив Технологии. Горная промышленность, 274: 167–178. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 2006с. Определение функции накопления трещин веревки проводов спускоподъемных установок посредством измененной функции авторегрессии. Международная конференция Xth по вопросам Качества, Надежности и Безопасности Веревок и Транспортных Средств Веревок. Краков 25-26 сентября: 69–84. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 2006. Моделирование процесса эксплуатации системы грузовика совка. Документы силезского Технологического университета, 1740, Гливице. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 2007. Модель подъема возглавляет веревку, которую носят способом усталости и его надёжностью в случае процесса изнашивания меня вид. *Mining Review*, 4: 44–49.

Чаплицкий, Я.М. 2008а. На возможности оценки сравнения системы грузовика совка с запасными машинами погрузки и без запчастей. Бумаги силезской Технологии. Унив 1, Издание III: 5–16.

Чаплицкий, Я.М. 2008b. Метод расчета для системы грузовика совка с наклонным подъемом типа TruckLift. *Международный журнал Разработки Полезных ископаемых*, 1: 1–13.

Чаплицкий, Я.М. 2008с. Теротехнология против Теории Эксплуатации — некоторые замечания. Научные проблемы Машинной Эксплуатации и Обслуживания. 2 (154), Издание 43: 45–58.

Чаплицкий, Я.М. 2008d. Процедура анализа и вычисления систем грузовика совка с дробилкой и конвейерами. XXI Конгрессов Горной промышленности Мира, Краков 7-11 сентября. 24, 4/3: 117–124.

Чаплицкий, Я.М. 2008е. Система грузовика совка с приоритетом для удаления данного типа скалы извлечена. *Горниктуо Оdkrywkoу*, 1 год: 62–66.

Чаплицкий, Я.М. 2009. Системы грузовика совка. Моделирование, анализ и вычисление. Francis & Taylor.

Чаплицкий, Я.М. 2009а. Скорость накопления провода веревки, взломал меру ослабления веревки? Горная промышленность Обзор. 10. (На польском языке).

Чаплицкий, Я.М. 2009b. На памяти о веревке во время ее использования — расследования на основе данных о шахте. Пятая Международная конференция 'Транспортировка Шахты 2009'. Щирк. 23-23 сентября. (На польском языке).

Чехович, Т. 1952. Синхронизация главного транспорта с операцией главной шахты. Диссертация доктора философии, AGH. (На польском языке).

Чекала, М. 2004. Группы изолированной части — многомерный тест. В: 'Postępy ekonometrii'. Баркзак (Эд.): 15–21. (На польском языке).

Дарнелл, Н. 1979. Передовая статья гостя. Terotechnology, издание 1, № 1. Десять кубометров, Р. 1971. Мудрая пунктом доступность электронной системы с уменьшенным классом эффективности компонентов. Микроэлектроника и надёжность, 10, 2: 61–66.

Диллон, В.С. 2008. Добывая надёжность оборудования, ремонтпригодность и безопасность. Спрингер.

Дитлевс, О. и Собчук, К. 1986. Случайный рост усталостной трещины с промедлением. Техническая Механика Перелома, 24, 6: 861–878.

Длубала, М. 2009. Расследование эксплуатации процессов изнашивания подъема возглавляет веревки. Тезис М.Сс. Горная промышленность Института Механизации силезского Технологического университета. Гливице, Польша.

Дович, Р.А. 1990. Статистика надежности. ASQ Quality Press. Милуоки, Висконсин.

Даунарович, О. 1997. Система эксплуатации. Управление техническими ресурсами. Gdańsk-Радом. (На польском языке).

Драпировщик, Н.Р. и Смит, Н. 1998. Прикладной регрессионный анализ. Wiley-межнаука.

Дурбин, Дж. 1953. Примечание по регрессу, когда есть посторонняя информация об одном из коэффициентов. Журнал американской статистической ассоциации, 48, декабрь: 799–808.

Дурбин, Дж. и Уотсон, G.S. 1950. Тестирование на последовательную корреляцию в регрессе наименьших квадратов I. Biometrika, 37, декабрь: 409–428.

Дурбин, Дж. и Уотсон, G.S. 1950. Тестирование на последовательную корреляцию в регрессе наименьших квадратов II. Biometrika, 38, июнь: 159–178.

Эйчлер, Дж. 1968. Умрите Kostenberechnung der gleisgebundenen Hauptstrecken — Forderung auf digitalen Rechenautomaten Альс Hilfsmittel der Planung und Überwachung. Шлегель und Эйсен, 6 лет.

Элсайед, Е.А. 1996, разработка Надежности. Аддисон-Уэсли.

Эванс, Д.В. 1974. Теротехнология — Как это может работать? Я. Механик Э. Конференс. Даремский университет, Великобритания. Сентябрь 1974.

Эверит, В.С. 2002. Кембриджский словарь статистики. КУБОК.

Фабиан, J. 1989. Циклические системы горной промышленности в чехословацких карьерах. Слушания Международного Симпозиума по Перевозке вне Шоссе в Карьерах, Эдмонтон 15-17, май: 205–209.

Фашанди, А. и Умберг, Т. 2003. Определение отказа оборудования: предпосылка для теста на надёжность и валидация. Электроника, Производящая Технологический Симпозиум. 16-18 июля: 357–358.

Феллер, В. 1957. Введение в теорию вероятности и ее заявления. J. Wiley and Sons, Inc.

Фейпер, К. 1994. Drahtseile, Bemessung, Betrieb Sicherheit. Берлин. Гейдельберг. Нью-Йорк. Спрингер Верлэг. ISBN 3-540-57861-7. (На немецком языке).

Финнистоне, Н.М. 1973. Теротехнология и управление в ССП. Журнал Железа и Стального Института, июль: 481–485.

Фирганек, Б. 1973. Оптимальное управление над производством и транспортом обрабатывает в угольных шахтах. IV Международных Конференций по Автоматизации Горной промышленности.

Фиркович, С. 1970. Статистический контроль качества. WNT, Варшава. (На польском языке).

Фишер, Р.А. 1929. Тест на значение в гармоническом анализе. Proc. Roy. Soc. 125: 54–59.

Франасик, К. и Зур, Т. 1983. Механизация подземных рудников. Śląsk. Катовице. (На польском языке).

Фриман, Дж. и Моддарес, Р. 2002. Свойства нормального распределения власти.

Фремлин, Д.Х. 2000. Теория меры. Торрес Фремлин.

Гиза, Т. 2008. Анализ надежности приостановленного локомотива с дизельным двигателем. Международная конференция 'современные, надежные и безопасные механизированные системы для горной промышленности' КОМТЕСН 2008, 17-19 ноября: (На польском языке): 217–226.

Гладиш, S. 1964. Процесс убытков за добытые открытым способом системы оборудования. We gieł Brunatny, 1: 62–74. (На польском языке).

Герцбах, И.Б., Кордонский, Х.Б. 1966. Модели отказов. Изд. Советское Радио. Москва.

Гнеденко, Б.В. 1964. О дублировании с восстановлением. АН СССР. Техническая кибернетика. 4.

Гнеденко, Б.В., Беляев, Ю.К. и Соловьев, Д. 1965. Математические методы в теории надёжности. Изд. Наука, Москва. (Перевод: Гньеденко, В.В., Белаев, Ю. К. и Соловьев, нашей эры. 1969. Математические методы теории надёжности. Academic Press. Нью-Йорк).

Гнеденко, Б.В. и Коваленко, И.Н. 1966. Введение в теорию массового обслуживания. Изд. Наука. Москва.

Гнеденко, Б.В. 1969. Резервирование с восстановлением и суммирование случайного числа слагаемых. Коллоквиум на Теории Надежности. Дополнение, чтобы предварительно напечатать том, стр 1–9.

Годфри, Л.Г. 1978. Проверка Против Общих Ошибочных Моделей Авторегрессивного и Скользящего среднего значения, когда Регрессоры Включают Изолированные Зависимые Переменные, *Econometrica*, 46: 1293–1302.

Годфри, Л.Г. 1988. Тест спецификации в эконометрике. Кембридж.

Гулд, Р.Дж. 1988. Теория графов. Бенджамин — паб Cummings. Ко.

Голдбергер, А.С. 1966. Эконометрическая теория. J. Wiley & Sons.

Голосинский, Т.С. и Боем Ф.Г. 1987. Непрерывная поверхностная горная промышленность. Слушания Международного Симпозиума. Эдмонтон, 29 сентября – 1 октября. 1986.

Грабский, Ф. и Язвиньский, Ж. 2001. Методы Баезиан В надежности и диагностике. WKŁ, Варшава. (На польском языке).

Грейнджер, К.В. и Хэйтанэка Х. 1969. Проанализируйте spectrale des séries temporelles en économie. Dunod. Париж. (на французском языке).

Грейнджер, С.В.Дж. и Чжуаньсинь, Д. 1996. Варианты моделей хорошей памяти. Журнал Эконометрики, 73, 1:61–77.

Грейнджер, К.В. и Розенблатт, М. 1957. Статистический анализ постоянного временного ряда. Дж. Вайли.

Грэй, Х.Л. и Льюис, Т.О. 1967. Доверительный интервал для отношения доступности. Технометрики, Издание 9, август: 465–471.

Гросс, Д. и Харрис, С.М. 1974. Основные принципы стоящей в очереди теории. Джон Вайли.

Гумбел, Е.Дж. 1958. Статистика крайностей. Издательство Колумбийского университета.

Халачми, В. и Франта, В.Р. 1978. Приближение распространения очереди мультисервера. Наука управления, Издание 24, № 5: 552–559.

Гамильтон, степень доктора юридических наук 1994. Анализ временного ряда. Издательство Принстонского университета.

Ханан, Е.Дж. 1960. Анализ временного ряда. Метуэн.

Харви, П.Р. 1964. Анализ производственных возможностей. APCOM, Горная школа Колорадо Ежеквартально.

Харламов, Б. 2008. Непрерывные полумарковские процессы. Петербург.

Хеугилл, Дж.С. и Паркс, Д. 1979. Теротехнология — философия и понятие. Теротехника, Издание 1, № 1: 12–19.

Хогг, Р.В. и Крэйг, А.Т. 1995. Введение в математическую статистику. 5-й редактор Макмиллан.

Холландер, М. и Вольф, Д.А. 1973. Непараметрические статистические методы. Вайли.

Хосфорд, Дж.Е. 1960. Меры надежности. Операционное Исследование, Издание 8, № 1: 204–206.
http://www.udc.edu/docs/dc_water_resources/technical_reports/report_n_190.pdf.

Хуструлид, В.А. и Кроуфорд, Дж.Т. 1979. Планирование и проектирование карьера. ЭМ.

Ибрагим, М.И. и Изъян, С. 2004. Новое понятие и внедрение межконтинентального гибкого обучения теротехнология и жизненного цикла стоятся. Молодой специалист IEEE. Конференция по Промышленной Технологии. Издание 1. Декабрь: 224–229.

Ясзчук, М., Маркович, J. и Szweda, S. 2004. Анализ влияния времени использования приведенной в действие поддержки Fazos-22/44-Oz на количестве неудач. Прос. Конференции по Эффективности Операции Приведенной в действие Поддержки: Перестроенный или Новый? Устрон' 1-2 апреля. Документы Центрального Института Горной промышленности. 47: 75–81. (На польском языке).

Яськовский, А. 1999. Два метода вычисления размера мусорного ведра для подземной шахты. Przegląd Górniczy, 9: стр 13–24. (На польском языке).

Джонсон, Р. 1984. Элементарная статистика. 4-й редактор PWS-кентский Publ. Co.

Józ'wiak, J. и Подгврский, J. 1997. Базовая статистика. 5-й редактор PWE, Варшава. (На польском языке).

Джуккет, J.E. 1969. Моделирование системного проектирования пояса угольной шахты. 3-я Конференция по Применению Моделирования. Лос-Анджелес.

Каммерер, степень бакалавра гуманитарных наук 1988. В яме сокрушительная и передающая система в Бингхэме Кэнионе Майне. Международный журнал Поверхностной Горной промышленности, Издания 2, № 3: 143–147.

Казмейрчак, Дж. 2000. Эксплуатация технических систем. Силезский Технологический университет, Гливице. (На польском языке).

Келлер, Г., Варрак, Б. и Бартел, Х. 1987. Статистика для управления и экономика. Систематический подход. Уодсуорт Пабл. Ко.

Килиньский, А. 1976. Промышленные процессы выполнения. Принципы теории. WNT, Варшава. (На польском языке).

Кодама, М., Фукута, Дж. и Такамацу, С. 1971. Наличие миссии система с 1 единицей с позволенным временем простоя. Сделки IEEE на надежности, 268–270.

Кодама, М. и Сава, И. 1986. Надёжность и ремонтпригодность многокомпонентной параллельной ряду системы с одновременной неудачей под приоритетными повторными дисциплинами ремонта. Микроэлектроника и Надёжность, 1: 163–181.

Колониа, В., Станич, Р. и Хамович, Дж. 2003. Моделирование сокрушительного использования систем в яме AutoMod. 19-й Конгресс Горной промышленности, 1-5 ноября, Нью-Дели: 517–531.

Кольмогоров, А.Н. 1933. Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Берлин: Джулиус Спрингер. (На немецком языке). (Перевод: Кольмогоров, А.Н. 1956. Фонды теории вероятности. Нью-Йорк: Челси).

- Конецкий, Дж. 1971. Введение в теорию эксплуатации устройств. WNT. Варшава. (На польском языке).
- Конецкий, Дж. 1973. Исследование эксплуатации для степени доктора. Проблемы эксплуатации с Машинами, 1 (13), Издание 8: 119–126. (На польском языке).
- Конецкий, Дж., Олеарчук, Е. и Зелазовский, В. 1969. Элементы науки эксплуатации. WNT. Варшава. (На польском языке).
- Копоцинская, И. 1968. Математические модели циклических очередей. *Inwestycje i Budownictwo*. 18, Номер 12: 22–25. (На польском языке).
- Копоцинский, Б. 1973. Схема возобновления и теории надежности. PWN, Варшава. (На польском языке).
- Копоцинский, Б. и Чаплицкий, Я.М. 2007. Проблема надежности веревки. Лекция, читавшая о Семинаре Института Математики Университета Wroclaw. 4 января. (На польском языке).
- Корбич, Дж., Косельный, Дж.М., Ковальчук, З. и Чолева, В. (Редакторы). 2004. Обнаружение ошибок. Спрингер.
- Королюк, В.С., Турбин, А.Ф. 1976. Полумарковские процессы и их приложения. Наук. Думка, Киев.
- Коваленко, И.Н., Кузнецов, Н.Ю. и Шуренков, В.М. 1983. Случайные процессы. Справочник. Наукова Думка.
- Ковльчук, Дж. 1957. Индикатор Fatigue для подъема возглавляет веревки. Документы Центрального Института Горной промышленности, 187. (На польском языке).
- Ковльчук, Дж. и Стейнингер, Дж. 1963. Стальные веревки. Сласс, Катовице. (На польском языке).
- Ковльчук, Дж. и Ханкус, Дж. 1965. Длительность усталости подъема возглавляет веревки 20–40 мм в диаметре. Документы Центрального Института Горной промышленности. (На польском языке).
- Ковльчук, Дж. и Ханкус, Дж. 1966. Индексы безопасности подъема возглавляют веревку. Документы Центрального Института Горной промышленности, 390. (На польском языке).
- Косьневская, И. 1965. Теория возобновления. PWE. Варшава. (На польском языке).
- Крускал, В.Х. и Уоллис, В.А. 1952. Использование разрядов в дисперсионном анализе с одним критерием. Журнал американской Статистической Ассоциации, 47 (260): 583–621.
- Леви, П. 1954. Полумарковский процесс. Про. Международная Математика Конгресса. Амстердам: 416–426.
- Ли А.М. 1966. Прикладная стоящая в очереди теория, Макмиллан.
- Лимниос, Н. и Опришан, Г. 2001. Процессы Полумарков и надёжность. Статистика для Промышленности и Технологии, Birkhäuser.
- Линдлей, Д.В. и Скотт, В.Ф. 1995. Новые Кембриджские статистические таблицы. 2-й редактор Cambridge Univ. Press.

Линберри, Г.Т. и Пэтси, степень доктора юридических наук 1987. Использование микрокомпьютера в дизайне и выборе материалов спускоподъемные системы. Добывающая Разработку, Нью-Йорк, 39, февраль: 127–129.

Малада, А. 2006. Стохастическая надёжность, моделирующая для сложных систем. Диссертация доктора философии, Способность Технического Университета Претории.

Маликов, И.М., Половко, А.М., Романов, Н.А., Чукреев, П.А. 1960. Основы теории и расчета надёжности. Судпромгиз.

Малиский, М. 2004. Проверка статистических гипотез поддержана компьютером. Силезский Технический Университет, Гливице. (На польском языке).

Манула, К.Б. и Сэнфорд, R.L. 1967. Планирование сетей конвейера пояса, используя компьютерное моделирование. Специальное Отделение Исследования NBC.

Мартц, H.F. 1971. На единственном наличии цикла. Сделки IEEE на Надежности, R-20, май: 21–23.

Марьянович, Т.П. 1961. Надійність системи зі змішаним резервом. Дон. АН УРСР, 8.

Маркович, Дж. 2003. Влияние моего-и-геологического условия на неудачах гидравлического раздела поддержки. 21 международная конференция DIAGO 2003. Острада: 247–255. (На польском языке).

Матусита, К. 1951. На теории статистических функций решения. Энн. Inst. Статистика. Математика., Издание III: 17–35.

Макниколс, R.J. и Messer, G.H. 1971. Алгоритм распределения доступности на основе издержек, R-20/3: 178–182.

Мелчерс, R.E. 1999. Структурный анализ надежности и прогноз. J. Wiley & Sons.

Мигдальский, J. (редактор). 1982. Руководство надежности. Математические основные принципы. WEMA, Варшава. (На польском языке).

Мишра, R.C. и Патак, К. 2002. Разработка обслуживания и управление. PHI Learning Pvt. Ltd.

Митчел, Г.Х. и Ли, Т.Р. 1965. Моделирование относилось к подземным транспортным проблемам в угольных шахтах. Эксплуатационное отделение исследования NCB.

Мур, Д.С. и Маккейб, Г.П. 1999. Введение в практику статистики. Нью-Йорк: В. Х. Фримен. Словарь MSN 2007.

Мутманский, Дж.М. и Мвасинга, П.П. 1988. Анализ СИМЕНА как язык моделирования общего назначения для горной промышленности систем. Предварительная печать № 88-185. Годовое собрание SME. Финикс, AZ 25-28 января.

Нагелкерке, Н. 1991. Примечание по общему определению коэффициента определения. Biometrika, 78, 3: 691–692.

Наги, Г. 1963. Надёжность поддающихся ремонту систем. Proc. Энн. Симпозиум по Надежности, 93–108.

- Накагава, Т. и Гоел, А.Л. 1971. Примечание по доступности к конечному интервалу. Сделки IEEE на Надежности, 271–272.
- Ниевиадосмкая-Коциел, Г. 1972. Обычные моменты выбранных случайных переменных, у которых есть усеченные распределения. *Przegląd Statystyczny*, 19, 1: 75–90. (На польском языке).
- О'Коннор, П.Д.Т. 2005. Практическая разработка надежности. J. Wiley & Sons.
- Олеарчук, Е. 1972. Схема теории использования устройств. WNT. Варшава. (На польском языке).
- Оруэлл, Г. Животноводческое хозяйство.
- Пальма, С. 1947. Распределение ремонтников в обслуживании автоматов. Индастриднинджен Норден, 17 лет: 75–80, 90–94, 119–123. (На шведском языке).
- Папулис, А. 1965. Вероятность, случайные переменные и вероятностные процессы. McGraw-Hill, Inc.
- Павлович В. 1988. Дизайн непрерывных системных элементов горной промышленности, применяющих мощность колеса ведра вероятностного процесса. Планирование разработки месторождения и Симпозиум Выбора Оборудования. Калгари, 3-4 ноября: 313–316.
- Павлович В. 1989. Непрерывная надёжность горной промышленности. Дизайн и операция механизированных систем. Эллис Хорвуд, J. Wiley & Sons.
- Павловский, З. 1973. Эконометрические прогнозы. PWN, Варшава. (На польском языке).
- Пил, Р. редактор. 1945. Руководство Горных инженеров. 36. Мусорные ведра руды. Стр John Wiley & Sons, Inc. 12.126–12.131. Пеплер, D. 1989. Иностранные инженеры — действительно ли они выше своих южноафриканских коллег? Горная промышленность SA, Уголь, Золотые и основные полезные ископаемые, 5-9 октября.
- Пайк, Р. 1961a. Процессы возобновления Маркова: определения и предварительные свойства. Энн. Из Математики. Статистик. 32: 1231–1242.
- Пайк, Р. 1961b. Процессы возобновления Маркова с конечно многими состояниями. Энн. Из Математики. Статистик., 32: 1243–1259.
- Пайк, Р. и Шауфеле, Р. 1964. Ель теорем предела процессы возобновления Маркова. Энн. Из Математики. Статистик., 35:1746–1764.
- Пясецки, С. 1973. Теория эксплуатации как наука об определенном типе деятельности. Проблемы эксплуатации с Машинами, 1 (13), Издание 8: 73–77. (На польском языке).
- Раппини, Г.Е. 1973. Некоторые аспекты Теротехнология в Italsider. Журнал Железа и Стального Института, июль:389–405.
- Рист, К. 1961. Решение проблемы транспортировки при помощи метода Монте-Карло. APCOM 1, Тусон, Аризонский университет, март: D1–D18.
- Рольф, Ф.дж. и Сокал, Р.Р. 1981. Статистические таблицы. 2-й редактор Freeman & Co.
- Росс, С.М. 1995. Вероятностные процессы. J. Wiley & Sons.

Рьябинин, И. 1976. Надёжность технических систем. Принципы и Анализ. Издатели Мира. Москва. Сажкиевич, Дж. 1973. Проблемы надёжности систем оборудования решены теорией графов. Бумаги Горной промышленности Институт технологического университета Врослав. 5.

Сажкиевич, Дж. 1974. Общий принцип сокращения систем машин с непрерывным транспортом. Проблемы эксплуатации с машинами. 4 (20), Издание 9: 501–508. (На польском языке).

Сажкиевич, Дж. 1975. Применение числовых символов для определения технически возможной работы указывает для системы оборудования. Проблемы эксплуатации с машинами. 2 (22), Издание 10: 219–236. (На польском языке).

Сарджент, Ф.Р. 1990. Горная промышленность и совки карьера. В: Поверхностная горная промышленность. (Эд. Кеннеди, степень бакалавра гуманитарных наук) SME.

Шустер, А. 1898. На расследовании скрытых периодичностей. Террорист. Мэг.

Шустер, А. 1900. periodogram магнитного наклона. Сделка Кэмбродж Фил. Soc., 18.

Смысл, Дж.Дж. 1968. Планирование оборудования включая использование и доступность. В Поверхностной горной промышленности. 1-й редактор. ЭМ: 659–670.

Севим Х. 1987. Эвристический метод в калибровке мусорного ведра. Горная промышленность Науки и техники. Издание 5: стр 34–44.

Севим Х. и Цин Ван. 1988а. Микрокомпьютерная модель для эффективного дизайна спускоподъемных систем.

Слушания международной конференции по вопросам подъема мужчин, материалов и полезных ископаемых. Торонто, Канада, июнь: 129–133.

Севим Х. и Цин Ван. 1988b. Дизайн и экономическая оценка спускоподъемных систем. Сделка. Inst. Минута. Метал., 97, июль: A129–133.

Севим Х. и Цин Ван. 1990а. Действительно ли моделирование - ответ на проектирование сети конвейера пояса? Предварительная печать SME 90–161. Годовое собрание SME. Солт-Лейк-Сити, Юта, 26 февраля 1 марта.

Севим Х. и Цин Ван. 1990b. Ответ на замечания Томпсона и Уэбстера. SME.

Сигель, С. и Кастелян Н.Дж. младший 1988. Непараметрическая статистика для бихевиоризма. McGraw-Hill.

Пойте, С. 1980. Эквивалентный подход уровня к Полумарковским процессам. Надёжность Сделки IEEE. R-29, 3: 273–274.

Сивазлиан, Б.Д. и Ван, К.Х. 1988. Приближение распространения к G/G/R машине восстанавливает проблему с теплыми резервными запчастями. Военно-морская Логистика Исследования Ежеквартально.

Сивазлиан, Б.Д. и Ван, К.Н. 1989. Системные особенности и экономический анализ G/G/R машины восстанавливают проблему с теплыми

- резервами, используя приближение распространения. *Микроэлектроника & Надёжность*, 29, 5: 829–848.
- Смит, В.Л. 1955. Регенеративные вероятностные процессы. *Proc. Roy. Soc. Лондон. Сер. А*, 232: 6–31.
- Смит, В.Л. 1958. Теория возобновления и ее разветвления. *Журнал Рой. Soc. Сер. В*, 20: 243–302.
- Смит, В.Л. 1959. На накапливании процессов возобновления. *Biometrika*, 46: 1–29.
- Смит, Д.Дж. 2007. Надёжность, Ремонтопригодность и риск. Elsevier.
- Смит, Р. и Мобли Р.К. 2007. Эмпирические правила для обслуживания и инженеров надежности. Баттерворт-Хейнеманн.
- Со, М.К.П. 2002. Анализ Bayesian хорошей памяти стохастические модели изменчивости. *Индийский Журнал Статистики. Издание 64, В, Pt. 1: 1–10*.
- Собчук, М. 1996. Статистика. PWN. Варшава: 46. (На польском языке).
- Собчук, К. и Спенсер, В.Ф. 1992. Случайная усталость: от данных до теории. Academic Press, Inc.: 139–147. Стургул, J.R. 1989. Моделирование Добывающих Систем Ленточного конвейера. Предварительная печать, 2-й Мировой Конгресс по Неметаллу -Полезные ископаемые. Октябрь Пекин. Китай.
- Шор, Я.Б., Кузьмин, Ф.И. 1968. Таблицы для анализа и контроля надежности. Изд. Советское Радио, Москва.
- Такас, Л. 1954. Некоторые расследования относительно текущих вероятностных процессов определенного типа. Венгерский *Tud. Akad. Циновка. Интервал Kutato. Kzl. 3: 115–128*.
- Такас, Л. 1955. На проблеме времени пребывания в теории вероятностных процессов. *Сделка. Amer. Математика. Soc. 93: 631–540*.
- Такас, Л. 1962. Введение в теорию очередей. Издательство Оксфордского университета.
- Такахашаи, И. 1981. Ориентируемое на обслуживание управление через полное участие ТРМ. Новая задача для руководителей предприятия в Японии. *Terotechnica. 2. Издание 2. Май: 79–88*.
- Тамаки, А. 1981. Передовая статья гостя (на Полном Продуктивном Обслуживании). *Terotechnica, 1. Vol.12, январь: 3–4*.
- Загар, С. и Рамани, Р.В. 1988. Непрерывные материалы, обращающиеся с симулятором: применение к сетям пояса в добыче полезных ископаемых. Предварительная печать № 88-179. Годовое собрание SME. AZ Финикса 25-28 января.
- Тейчолз, П. 1963. Подход моделирования к выбору строительного оборудования. Технический отчет № 26. Строительный институт. Стэнфордский университет. Июнь.
- Теменг, В.А. 1988. Вероятностный анализ надежности и эффективность элементарной системы грузовика совка в Открытой яме Nchanga. M.Sc. Диссертация, Университет Замбии, Добывающая Технический Отдел. Thesaurus.com 2008.

- Томпсон, М. 1966. Более низкие пределы достоверности и тест гипотез для системной доступности. Сделка IEEE на Надежности, Издании R-15, 1: 32–36.
- Томпсон, С.Д и Уэбстер, Р.Л. 1988. *Модель дизайна для подземных систем перевозки. Обсуждение*. Сделки, SME, Издание 284, стр 1818–1822.
- Тиджмс, Н.С. 2003. Алгоритмический анализ очередей. Вайли.
- Тытко, А. 2003. Эксплуатация стальных веревок. Śląsk, Катовице. (На польском языке).
- Тытко, А. и Новацкий, Ж. 2006. Главная веревка, изменяющая к лучшему ее ось, наблюдается в оказании гостеприимства установок.
- Конференция по эксплуатации безопасности транспортных средств. Устрон', 8-10 ноября: 116–124. (На польском языке).
- Узар, А. 2001. Анализ отказов приведенных в действие поддержек применился в угольных шахтах 'Książ' и 'Марселя'. М.Сс. Тезис. Горная промышленность Института Механизации силезского Технического Университета. Гливице, Польша. (На польском языке).
- Уолд, А. 1971. Статистические функции решения. Челси Пабл. Ко.
- Ван, Х. и Чжао, Л. 1997. Исследование технологии перевозки и оборудования в больших карьерах. Слушания Международного Симпозиума по Выбору Планирования разработки месторождения и Оборудования, Острове, Чешская Республика, 3-6 сентября: 511–514.
- Уэбстер, П.Л. 1989. Стохастические модели для калибровки поясов и мусорных ведер в оптовой сети конвейеров. М.Сс. Тезис. Иллинойский университет в Урбане-Шампейне, Урбана.
- Вианецкий, А. 1974. Расследование подземных непрерывных транспортных систем методом моделирования. Диссертация доктора философии. Силезский технологический университет. Гливице. (На польском языке).
- Вигел, В. 1974. Функциональное обслуживание: системный подход. Технология металлов. Январь: 6–12.
- Уолд, Х. (редактор)., 1964. Здание эконометрической модели. Амстердам.
- Уольф, Р.В. 2007. Стохастическое моделирование и теория очередей. Prentice-зал.
- Уольфрам, С. 2002. Новый вид науки. СМИ вольфрама.
- Уольский, Дж. и Голосинский, Т.С. 1986. Исполнительные факторы систем роторного экскаватора. Операционное Издание 280 ЭМА: 1904–1911.
- Вудров, Г.Б. 1992. Оценки работы для парков грузовиков и погрузчика. 3-я большая конференция по открытым горным работам. Масау, 30.08–03.09: 119–125.
- Мастер, Е.А. 1988. Посылка грузовика на персональном компьютере. Слушания Международного Симпозиума по Выбору Планирования разработки месторождения и Оборудования, Калгари, 3-4 ноября: 429–433.
- www.asknumbers.com/WhatIsReliability.aspx 2004.
- www.siemag.de/new/en/schraeg.htm 2007.
- www.businessdictionary.com 2008.
- www.Уейбулл.com 2007.
- www.mathwords.com/o/outlier.htm 2008.

.Зайканг, Л. 1985. Компьютерное моделирование и его применение в извлечении, перевозке и спускоподъемной системе из угольных шахт. Слушания второй конференции по использованию компьютеров в угольной промышленности. SME: 214–222.

Зелиас, А. 1996. Методы отслеживания отклонений в экономических расследованиях. Виадомошские статистические исследования, 8.

Зелинский, Р. 1972. Статистические таблицы. PWN. (На польском языке).

Зимба, С. 1973. Из редакции. Проблемы эксплуатации машин. 1 (13), Том 8: 5-9. (На польском языке).

Zur, T. 1979. Ленточные конвейеры в горной промышленности. Шласк, Катовице. (На польском языке).

Предметный указатель

A

Автокорреляция v , x_i , 13, 36, 39–42, 60, 62, 96, 99, 102, 103, 113, 243

Доступность x_i , 4, 61–63, 68, 69, 71, 72, 85–87, 90, 91, 120, 131, 145, 146, 148, 157, 162, 164, 173–175, 188, 190, 192–199, 204, 210–214, 221, 226, 231, 246, 266, 267

C

Корреляция x_i , x_{ii} , 23–26, 36, 40, 42, 47–53, 91, 92, 98, 102, 159

D

Диагностика, статистический v , 10, 12, 13, 53, 106 Распределений, бета x_{ii} , 35, 87, 90, 193–195, 197, 247, 255 двучленов 32, 33, 120, 173, 213, 214, 228

Эрланг 18, 20, 21, 82, 89, 150, 170, 177,

178, 180, 183

показательный x_i , x_{ii} , 18–20, 59, 65, 76, 81, 87, 89, 96, 97, 99, 109, 111, 112, 113, 121, 126, 130, 149–151, 162, 166, 170, 172, 175, 177, 178, 180, 183–185, 187–189, 221, 249, 251, 257, 266

гамма x_{ii} , 21, 59, 61, 89, 193

геометрические 150, 193, 261

нормальный x_{ii} , 17, 21, 22, 24, 30, 41, 43, 49, 65, 73, 75–77, 83, 87, 108, 110, 135, 136, 148, 185, 188, 199, 243, 245, 251, 265, 269

Уейбулл 59, 61, 152, 153, 160

E

Вложенная цепь Маркова 154, 164 графа Эксплуатации 12, 57, 58, 63–66, 68, 71, 74, 78, 127–129, 133, 138, 140–142, 144,

145, 151, 152, 155, 162, 163

Процесс эксплуатации v , x_{ii} , 1, 7–9, 12, 17, 23, 31, 39, 45, 47, 50, 55–60, 62, 63, 65, 69, 73, 74, 81, 83–85, 87–89, 91, 119, 121–123, 125, 126, 127, 128, 133, 138, 140, 152, 158, 159, 169, 188, 211, 213, 220, 221, 225, 226, 228, 231, 264, 265, 269

Репертуар эксплуатации x_{ii} , 12, 57, 65, 69, 72–74, 127, 128, 131, 132, 140, 141, 144, 151, 178, 180

Теория эксплуатации – цели 7

F

Неудача, определение 93

H

Функция опасности x_{ii} , 108, 109, 110, 115, 116, 159, 163

Ситуация с интенсивным движением v_i , 199, 203, 204, 206, 222, 223, 242

Однородность v , v_i , 13, 21, 22, 42, 45, 119, 123, 159, 193, 263, 264

L

Жизнь технического объекта/пункта – фазы 8 Линейных регрессий, предположения 98

М

Машина, определение 6

Цепь Маркова 150, 151, 154, 155, 160, 164 Средних 15, 16, 26, 197

Р

Пара элементов 9, 142–144, 148 Вероятностей, Процесс определения 14, смерть рождения 121, 172

Гауссовские 35, 102, 135, 243–245 неустойчивых 73, 74, 89, 158 Марковых, определение 126 memoryless 82, 100, 126, 150, регенерация 73, 74, 84, 158, 159, 188

Полумарковский, определение 150

с памятью 42, 60, 96, 99, 100, 103–105, 243, 250, 254

Р

Случайная переменная, определение 15

Функция надежности 72, 108–110, 114–116, 159, 162, 163

Частота ремонтов (обвиняют коэффициент), xii, 86, 87, 130, 145, 176, 189, 190, 194, 221

Т

Теротехнология v, 1–6, 14

S

Ядро Семи-Маркова, определение 152

Статистический тест,

Бреуш-Годфри 41

Краскол-Уоллис 43

V

Идентичность изменения 230, 266