

АНАЛИЗ ПОТОКА ТЕХНИЧЕСКИХ ИНЦИДЕНТОВ В СИСТЕМЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Каримов Р.Н., Мочалов В.В., Рейтер А.А.

Постановка задачи

В соответствии с существующей классификацией, системы газораспределения относятся к категории опасных производственных объектов (ОПО). Определение систем газораспределения в качестве ОПО обусловлено качественным признаком – наличием в системе природного газа как горючего и взрывоопасного вещества. Количественные оценки степени опасности газораспределительных систем в настоящее время в нормативной и технической литературе отсутствуют.

Методы количественной оценки опасности технических систем предполагают определение степени опасности объекта по величине ожидаемого вследствие аварии ущерба. Анализ причинно-следственных диаграмм аварий на объектах систем газораспределения показывает, что аварийные ситуации (и сопутствующий ущерб) чаще всего являются следствием развития технических инцидентов под воздействием различных факторов (включая субъективные) с вероятностным механизмом взаимодействия (рис. 1). Степень опасности эксплуатации ОПО в значительной мере определяется качеством эксплуатации опасного объекта. По некоторым данным доля субъективных факторов среди причин возникновения аварийных ситуаций составляет до 70%.

Так как газораспределительные системы, в качестве компоненты инфраструктуры населенного пункта, сильно отличаются друг от друга, как по техническим параметрам, так и по условиям эксплуатации, то абсолютное число аварий, произошедших на конкретном опасном производственном объекте не может служить исчерпывающим показателем, характеризующим качество эксплуатации опасного производственного объекта.

Количественной мерой, характеризующей качество эксплуатации опасного производственного объекта предлагается принять вероятность, с которой технический инцидент может развиваться в аварийную ситуацию.

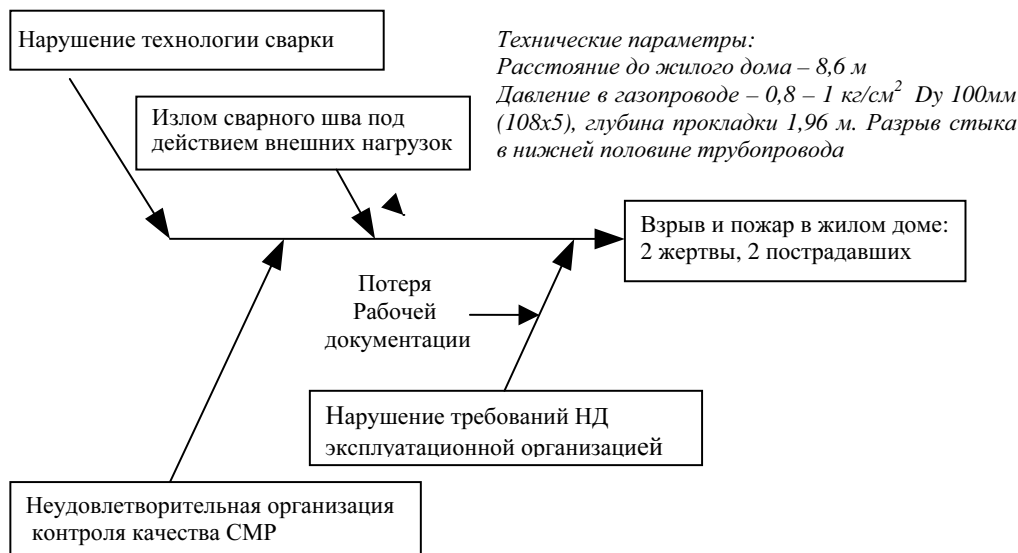


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма аварии на газопроводе среднего давления в г. Ставрополь 25 января 2001 г.

Целью исследования описанной проблемы в настоящей работе является построение математической модели потока технических инцидентов газораспределительной системы крупного населенного пункта. В качестве исходных данных использованы данные о поступивших аварийных заявках в аварийно-диспетчерскую службу газораспределительной организации на протяжении 3-х лет. Предварительный анализ ретроспективных данных показал, что динамика технических инцидентов (*аварийных заявок*) может описываться следующей многокомпонентной моделью временного ряда:

$$y(t) = a(t) + c(t) + z(t) + x(t) + n(t), \quad (1)$$

где $a(t)$ – тренд, $c(t)$ – сезонная компонента, $z(t)$ – циклические компоненты, $x(t)$ – случайная компонента, $n(t)$ – помеха измерения (шум). Определение тренда и циклических компонент при недостатке априорной информации об анализируемом процессе – нетривиальная задача. В этом случае полезны непараметрические методы анализа временных рядов, не требующие знания вида распределения ряда.

Наиболее универсальным методом, требующим от исследователя минимальных сведений о свойствах компонент временного ряда, является метод сингулярного разложения. В данной работе производится выявление отдельных компонент временного ряда аварийных заявок методом сингулярного разложения и подгонка модели с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

Анализ временного ряда

Анализируемый временной ряд представлен на рис. 2а. Шаг дискретности по времени – 1 сутки, длина наблюдаемой реализации – 1095 суток. Первое значение временного ряда соответствует 1 января 2002 года.

Анализируя график временного ряда, представленного на рис. 2 а, можно прийти к выводу, что значения временного ряда содержат неоднородный по времени разброс значений. Одним из вариантов снижения неоднородности разброса является логарифмирование исходных данных [3]. На рис. 2 б представлен график того же временного ряда после логарифмирования, редактирования аномальных наблюдений с помощью метода «Тьюки 53Х» и центрирования. Разброс значений временного ряда стал более равномерным, стали заметны трендовые и периодические составляющие ряда.

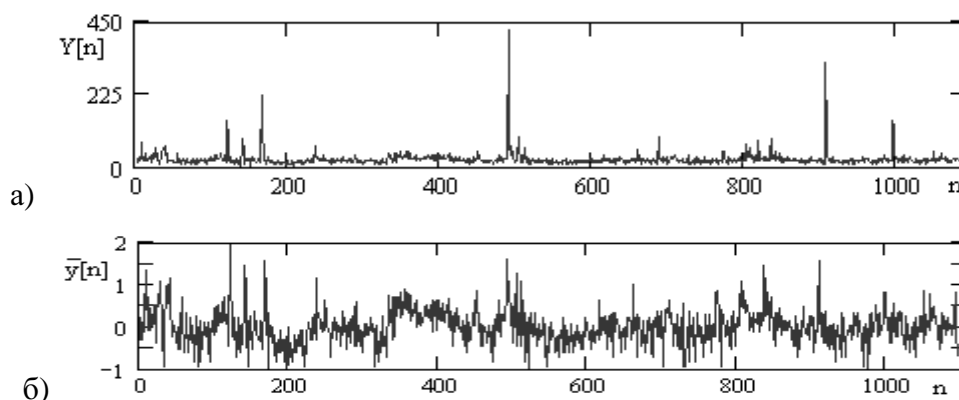


Рис.2. а) – Исходный временной ряд, б) – временной ряд после логарифмирования и редактирования аномальных наблюдений.

Пусть $y[n]$ – ряд аварийных заявок после логарифмирования и редактирования аномальных наблюдений. Положим $\bar{y}[n] = y[n] - m_y$, где m_y – среднее значение ряда $y[n]$, $m_y = 3,02$.

Поиск периодичностей в ряде $\bar{y}[n]$ осуществим помощью модификации метода сингулярного разложения. Стандартный алгоритм сингулярного разложения [2] не позволяет чисто выделить периодические составляющие из-за присутствия в ряде «окрашенного шума» относительно большой мощности. В данном случае возможно применить модификацию метода сингулярного разложения, основанную на «отбеливании» шума [4]. В результате применения метода были выделены три периодические компоненты, обозначим их $g_1[n]$, $g_2[n]$, $g_3[n]$. Графики компонент представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что первая компонента соответствует затухающей квазипериодической функции с периодом примерно 370-400 суток. Вторая компонента – затухающая гармоническая функция. Третья компонента соответствует модулированной по амплитуде гармонике с периодом примерно 180 суток.

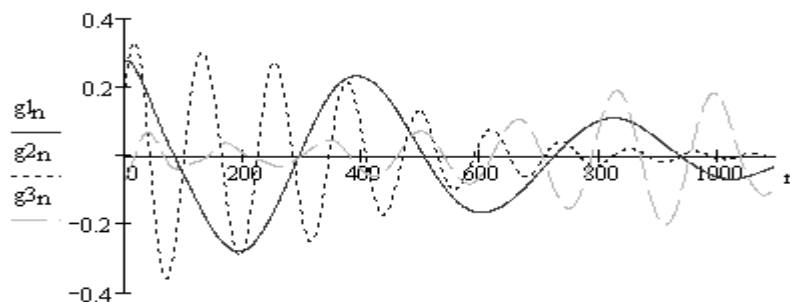


Рис. 3. Графики выделенных составляющих.

Для проверки достоверности полученных результатов проведем вейвлет-анализ исследуемого ряда. В качестве материнского вейвлета выберем вейвлет Морле. На рис. 4 представлен график вейвлет-спектра.

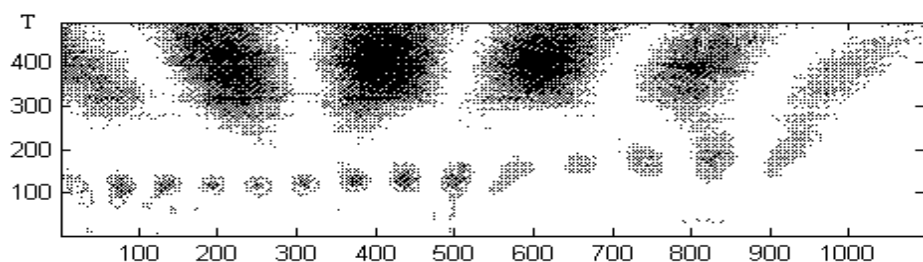


Рис. 4. График вейвлет-спектра ряда аварийных заявок.
По оси абсцисс – время, по оси ординат – период.

Результаты, полученные с помощью вейвлет-анализа, хорошо согласуются с результатами сингулярного разложения. На графике вейвлет-спектра видны три периодические составляющие: с периодом примерно 400 суток, с периодом примерно 120 суток и с периодом примерно 180 суток. Из графика также видно, что периодическая компонента с периодом 120 суток затухает после 500 суток, а периодическая компонента с периодом 180 суток появляется после 600 суток.

Интерпретация полученных результатов

Аппроксимация тех или иных компонент временного ряда детерминированными функциями в процессе моделирования возможна только при достаточно уверенном понимании механизмов, формирующих эти компоненты. Постараемся дать физическую интерпретацию полученным результатам.

Неоднородный во времени разброс значений. Природный газ не имеет запаха. Для того, чтобы можно было сразу обнаружить утечку, в газ добавляют специальное вещество, называемое одорантом, обладающее резким специфическим запахом, который большинство людей и воспринимает как запах газа. Превышение концентрации одоранта приводит к тому, что люди начинают интенсивнее ощущать «запах газа». Соответственно, резко увеличивается число обращений в аварийную газовую службу.

Тренд – циклическая компонента с периодом около 400 суток. Можно предположить, что эта квазипериодическая составляющая носит сезонный характер. В более холодные времена года увеличивается не только по объём газопотребления, но и по число используемого газового оборудования. Соответственно увеличивается и число технических инцидентов, происходящих с газовым оборудованием.

Тренд – циклическая компонента с периодом около 170 суток. Для определения физического смысла данной компоненты также необходимо дополнительное исследование числа инцидентов в зависимости от причин, их вызвавших, однако можно предположить, что эта компонента может обуславливается и сезонными изменениями.

Тренд – циклическая компонента с периодом около 120 суток. Для определения физического смысла данной компоненты необходимо дополнительное исследование числа аварийных инцидентов в зависимости от причин, их вызвавших. Также следует учесть, что эта компонента имеет наибольшую амплитуду в течение 2002 и начала 2003 годов.

Случайный процесс. Эта компонента обусловлена как ошибками измерений, так и случайным характером наблюдаемого процесса.

Моделирование процесса

Учитывая результаты сингулярного разложения, построим математическую модель процесса возникновения технических инцидентов.

С помощью МНК [3] найдем последовательно амплитуду и фазу для гармоник, соответствующих выделенным компонентам. Этот метод дает возможность приблизительно задать период выделяемой гармоники, а затем, итеративно, его уточнять. После уточнения периода находятся амплитуда и фаза гармоники.

Были найдены следующие гармоники, соответствующие выделенным с помощью метода сингулярного разложения, компонентам:

$$\begin{aligned} c_1[n] &= 0,14 \cos(n \cdot 2\pi/395,5 - 0,08), \\ c_2[n] &= 0,13 \cos(n \cdot 2\pi/118,3 - 0,92), \\ c_3[n] &= 0,09 \cos(n \cdot 2\pi/172,7 + 0,95). \end{aligned} \quad (2)$$

Положим $c[n] = c_1[n] + c_2[n] + c_3[n]$, $g[n] = g_1[n] + g_2[n] + g_3[n]$.

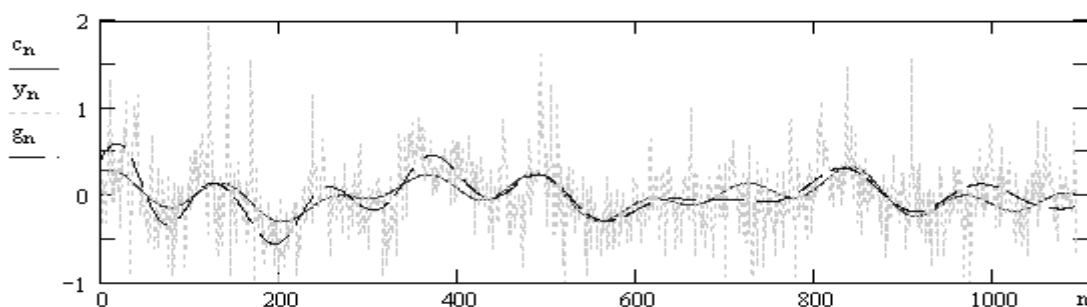


Рис. 5. $c[n]$ – сумма компонент, выделенных МНК,
 $g[n]$ – сумма компонент, выделенных с помощью метода сингулярного разложения,
 $y[n]$ – центрированный анализируемый временной ряд.

Из рис. 5 видно, что компоненты, выделенные с помощью метода сингулярного разложения, удалось достаточно точно представить в виде суммы косинусоид. На рис. 6 представлен последовательность остатков $x[n]$,

$$x[n] = \bar{y}[n] - c[n]. \quad (3)$$

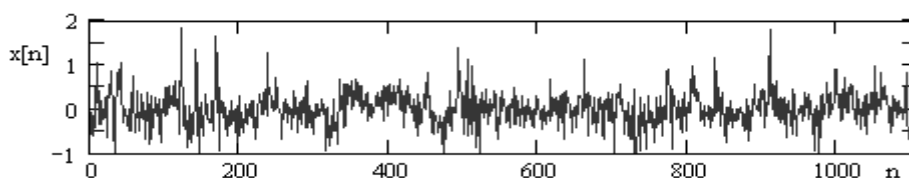


Рис. 6. Случайный процесс.

Ряд $x[n]$ – стационарный временной ряд. Любой стационарный ряд с достаточной точностью можно описать моделью авторегрессии – скользящего среднего. Для идентификации порядка модели построим автокорреляционную последовательность (АКП) (рис. 7 а) и частную автокорреляционную последовательность (ЧАКП) (рис 7 б).

Видно, что АКП можно описать суммой экспоненты и затухающей косинусоиды, а ЧАКП имеет два ненулевых значения на задержках 1 и 2. Анализ графиков АКП и ЧАКП показывает, что ряд остатка $x[n]$ можно описать моделью авторегрессии второго порядка:

$$x[n] = -a_1x[n-1] - a_2x[n-2] + \varepsilon[n], \quad n = 2, \dots, N-1, \quad (4)$$

где ε – вектор белого шума, a_1 и a_2 – коэффициенты авторегрессии, N – число наблюдений.

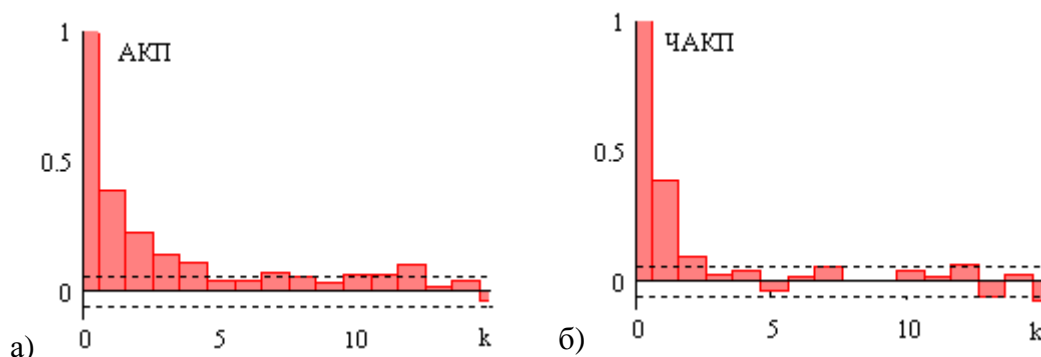


Рис. 7. а) – график АКП, б) – график ЧАКП. Пунктирами показаны доверительные интервалы для белого шума

Оценим параметры авторегрессии с помощью МНК. Результаты оценивания представлены в табл. 1.

Таблица. 1. Сводная таблица оценивания параметров АР-модели.

	Значение параметра	Стандартная ошибка	Уровень значимости	Нижняя граница 95% доверит. интервала	Верхняя граница 95% доверит. интервала
a1	-0,32	0,03	0,0000	-0,384	-0,265
a2	-0,11	0,03	0,0004	-0,165	-0,046

Оба коэффициента регрессии статистически значимы, стандартные ошибки достаточно малы, что говорит о надежности полученных оценок. Таким образом, случайный процесс можно описать следующим уравнением:

$$x[n] = 0,32\varepsilon[n-1] + 0,11\varepsilon[n-2] + \varepsilon[n], \quad (5)$$

где $\varepsilon[n]$ – независимые нормально распределенные величины с нулевым средним и дисперсией $\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = 0,11$.

На основе выражений (2), (5), процесс, значения которого равны числу аварийных заявок, может быть представлен следующим образом:

$$\begin{aligned} \ln(y[n]) = & 3,02 + 0,14 \cos(2\pi/395,5 \cdot n - 0,08) + \\ & + 0,13 \cos(2\pi/118,3 \cdot n - 0,92) + \\ & + 0,09 \cos(2\pi/172,7 \cdot n + 0,95) + x[n], \end{aligned} \quad (6)$$

где $x[n]$ вычисляется по формуле (5).

Заключение

Проведен анализ временного ряда количества обращений в аварийную газовую службу. После обнаружения и редактирования аномальных наблюдений ряд обработан с помощью метода сингулярного разложения. Выделены тренд – циклическая компонента и две периодические компоненты. После подгонки тренда и циклических компонент синусоидами, выделена и анализирована случайная компонента ряда. Эта компонента является стационарным случайным процессом и статистически достоверно описана моделью АР(2) – процесса.

Следует отметить большой вклад случайной составляющей во временной

ряд. Дисперсия временного ряда после редактирования аномальных наблюдений равна $Dy = 0,16$, а дисперсия случайной составляющей $Dx = 0,13$. Таким образом, значительная доля разброса приходится на случайную компоненту временного ряда. Полученные зависимости параметров потока инцидентов позволяют продолжить работу по построению модели качества обслуживания опасного производственного объекта.

Литература

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып.1, 2: Пер. с англ. М.: Мир, 1974. 406с., 197 с.
2. Голяндина Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. – СПб., 2004. – 76 с.
3. Каримов Р. Н. Основы теории случайных процессов: Учеб. пособие / Волг.ГТУ, Волгоград, 2003. –156 с.
4. Каримов Р. Н. Обработка экспериментальной информации. Ч. 4. Статистика случайных процессов: Учеб. пособие – Изд. второе перераб. и доп. Саратов: СГТУ, 2004. – 120 с.
5. Рейтер А.А. Выделение периодических компонент из загрязненных «окрашенным» шумом временных рядов//Информационные технологии моделирования и управления – Воронеж, Научная книга, 2006 – С. 848-854
6. Allen M., Smith L. A., 1996: Monte Carlo SSA: Detecting irregular oscillations in the presence of coloured noise, *J. Clim.*, 9, 3373-3404.
7. Ghil M., and P. Yiou, 1996: Spectral methods: What they can and cannot do for climatic time series, in *Decadal Climate Variability: Dynamics and Predictability*, D. Anderson and J. Willebrand (Eds.), Elsevier, Amsterdam, 445-482.