

А.В.Меньших,
Воронежский институт
ГПС МЧС России

С.Н.Тростянский,
доктор технических наук, доцент,
Воронежский институт ГПС МЧС России

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАЙМОСВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ СТАТИСТИКИ

STUDY OF THE RELATIONSHIP OF INDICATORS FIRE STATISTICS

Рассматриваются временные ряды пожарной статистики. Описываются математические методы выявления взаимосвязи временных рядов, включающих трендовую, циклические и случайную компоненты.

The time series of fire statistics are considered. We describe mathematical methods of exposing the correlation of time series, including trend, periodic and random components.

Введение

Одной из важнейших задач при принятии управленческих решений в государственной противопожарной службе является анализ пожарной статистики [1, 2], который может быть использован как в интересах выявления факторов, влияющих на значения показателей пожарной статистики, так и в интересах прогноза будущих значений этих показателей. Очевидно, что показатели пожарной статистики в той или иной степени связаны между собой. Получение оценок этой связи позволит повысить обоснованность принятия управленческих решений.

Пожарная статистика представляет собой совокупность временных рядов, содержащих информацию о значениях показателей за последовательные периоды времени. Разработка методов анализа временных рядов пожарной статистики осуществлялась в [3—8]. В частности, в [5] разработана компьютерная модель, которая позволила выявить фрактальный характер рядов пожарной статистики [6], обусловленный наличием в их структуре циклических компонент.

В настоящей работе с использованием методов математической статистики осуществляется разработка модели получения вероятностно-временных оценок связи показателей пожарной статистики на основе информации ГПС МЧС по Воронежской области.

Анализ возможности оценки взаимосвязи временных рядов пожарной статистики

Исследование взаимосвязи временных рядов, а тем более получение численных оценок этой взаимосвязи является одной из наиболее сложных задач статистического анализа. Непосредственное применение корреляционного анализа может приводить к существенно искаженным и даже противоположным результатам.

Обозначим y^τ — значение показателя пожарной статистики (количество пожаров данного типа, количество погибших или пострадавших и т.д.) за интервал времени τ . Ряды пожарной статистики представляют собой наборы $Y = (y^1, y^2, \dots, y^n)$. На значения каждого ряда пожарной статистики оказывают влияние множество факторов, которые, как показано в [7], делятся на следующие группы:

1) факторы, оказывающие долговременное влияние на значения показателя; результат их совокупного влияния называют трендовой компонентой временного ряда $T = (t^1, t^2, \dots, t^n)$;

2) факторы, отражающие повторяющиеся процессы в течение некоторых периодов времени; результаты их влияния называют циклическими компонентами временного ряда C_1, C_2, \dots, C_m , где $C_i = (c_i^1, c_i^2, \dots, c_i^n), i = 1, 2, \dots, m$, каждая циклическая компонента имеет собственный период изменения, за время которого её влияние компенсируется;

3) факторы, неучтенные в указанных ранее группах, т. е. оказывающие несистематическое влияние; результат их совокупного влияния называют случайной компонентой временного ряда $E = (e^1, e^2, \dots, e^n)$.

При проверке наличия взаимосвязи двух временных рядов следует учитывать возможность появления ложной корреляции, показывающей наличие связи в том случае, когда реально она не существует [9]. Исследуем возможные пути появления такой корреляции.

Если временные ряды содержат трендовые компоненты, то корреляция их уровней будет преувеличена (коэффициент корреляции будет близок к (+1) при одинаковой направленности тенденции или к (-1) при противоположной направленности тенденции). Если временные ряды содержат циклические компоненты, то корреляция их уровней будет преувеличена при совпадении периодов компонент или приуменьшена при несовпадении периодов. Следовательно, о наличии связи между рядами можно говорить, если существует инструментально подтвержденная с помощью коэффициента корреляции связь между несистематически влияющими факторами [9].

Кроме того, при исследовании взаимоотношений между рядами может проявиться явление запаздывания уровней одного ряда относительно другого (временной лаг). Это может свидетельствовать о наличии причинно-следственной связи между рядами.

Таким образом, для того чтобы установить наличие взаимосвязи двух временных рядов, необходимо из каждого из них исключить влияние факторов, действие которых уже оценено, т. е. факторов, формирующих циклические и трендовые компоненты. При этом целесообразно выделять два типа взаимосвязи временных рядов пожарной статистики:

1) взаимосвязь, при которой отсутствует временной лаг, т. е. значения уровней рядов формируются на основе одних и тех же одновременно влияющих факторов;

2) взаимосвязь, при которой существует временной лаг, т. е. факторы, сопутствующие появлению значений одного ряда, через определённое время оказывают влияние на формирование значений уровней другого ряда.

Опишем общий подход, позволяющий выявлять наличие взаимосвязи временных рядов пожарной статистики, определять тип взаимосвязи и находить оценку его величины.

Модель оценки взаимосвязи рядов пожарной статистики

Модель временного ряда пожарной статистики представляет собой функцию перечисленных выше компонент $Y = F(T, C_1, C_2, \dots, C_m, E)$. На практике используются аддитивная $Y = T + C_1 + C_2 + \dots + C_m + E$ или мультипликативная $Y = T \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \dots \cdot C_m \cdot E$ модели ряда [7, 9]. Определение типа модели и методы исключения циклических и трендовых компонент в рядах пожарной статистики для каждого типа модели описаны в [5—7].

После исключения перечисленных компонент временные ряды будут представлены значениями случайной компоненты E , которые находятся по формулам (их принято называть остатками [9]):

$$e^\tau = y^\tau - \sum_{i=1}^m c_i^\tau - t^\tau \quad \text{для аддитивной модели},$$

$$e^\tau = \frac{y^\tau}{\prod_{i=1}^m c_i^\tau \cdot t^\tau} \text{ — для мультипликативной модели.}$$

В качестве оценок взаимосвязи временных рядов естественно использовать коэффициенты корреляции их уровней. Пусть заданы два временных ряда A и B с остатками E^A и E^B соответственно. Обозначим $r_k(E^A, E^B)$ — значение коэффициента корреляции остатков ряда A и ряда, полученного из ряда B сдвигом на k уровней, где k принимает значения от 0 до $d(n/4)$ ($d(\)$ — функция округления), т. к. больший сдвиг приведет к искажению результата [9].

Естественно, что если значение $r_0(E^A, E^B)$ достаточно велико, то есть основание считать, что значения рядов A и B формируются на основе одних и тех же одновременно влияющих факторов, т. е. имеет место первый тип взаимосвязи; если значение $r_k(E^A, E^B), k > 0$ достаточно велико, то есть основание считать, что факторы, сопутствующие появлению значений ряда A через промежуток времени, соответствующих k уровням, окажут влияние на формирование значений ряда B , т. е. имеет место второй тип взаимосвязи. Интерес представляет нахождение промежутка времени, через который взаимосвязь достигнет наибольшей величины, т. е. величины $k^* = \operatorname{Arg max} r_k(E^A, E^B)$.

Описанная процедура полностью реализована в статистическом пакете Microsoft Excel.

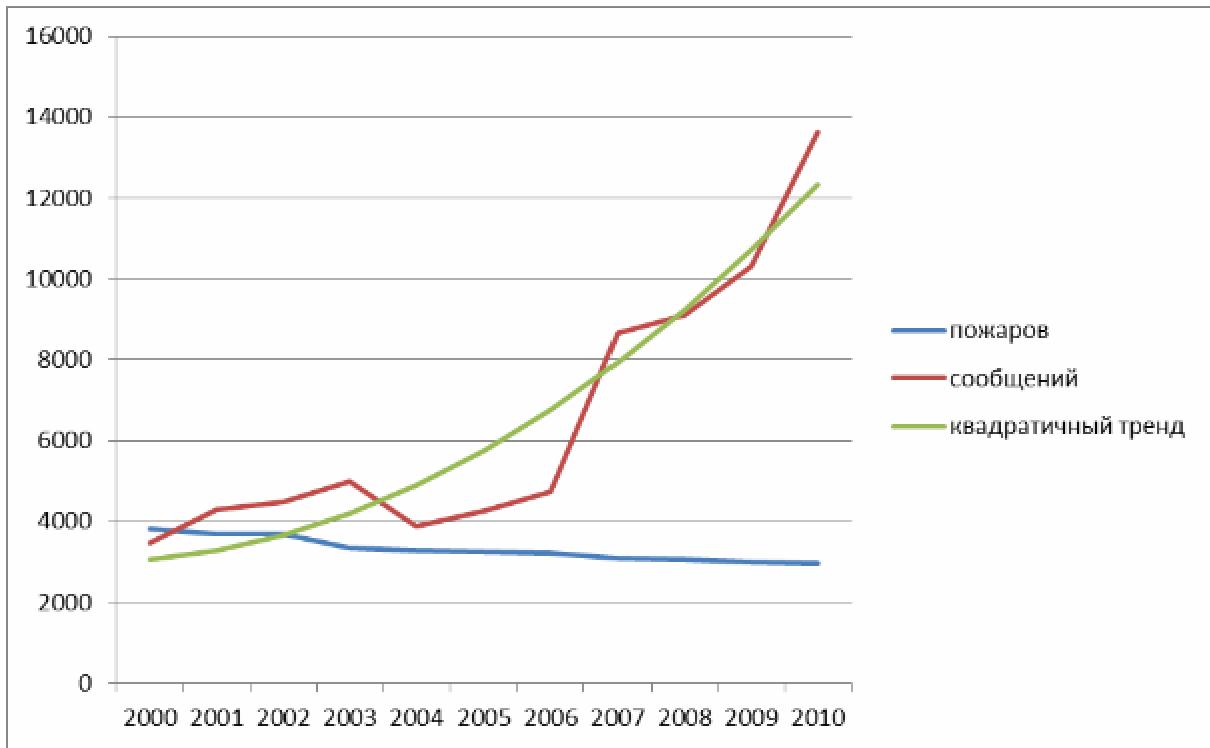
Исследование взаимосвязи количества пожаров и количества противопожарных мероприятий

Данные пожарной статистики включают, в частности, временные ряды, содержащие информацию не только о количестве пожаров для различных категорий объектов, но и о профилактических мероприятиях, в частности о количестве сообщений в средствах массовой информации. В табл. 1 представлены сравнительные данные для Воронежской области за 2000—2010 годы (Y — временной ряд, уровни которого содержат информацию о количестве пожаров, N — временной ряд, уровни которого содержат информацию по противопожарной пропаганде, реализуемую с помощью СМИ, один уровень ряда соответствует сдвигу по времени на один год).

Таблица 1

τ	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Y	3815	3694	3690	3346	3281	3257	3224	3094	3045	2981	2952
N	3467	4280	4479	5004	3878	4253	4729	8656	9099	10318	13632

На рисунке, где представлено графическое изображение рассматриваемых рядов, видно, что имеются ярко выраженные противоположные тенденции в данных рядах.



Сравнение тенденций рядов пожарной статистики

Как показал анализ, временной ряд количества сообщений СМИ по противопожарной пропаганде не содержит циклических компонент, а его трендовая компонента наиболее близко аппроксимируется квадратичной зависимостью.

Исследуем влияние информации по противопожарной пропаганде на количество пожаров. Величина лага ограничивалась $d(n/4)=3$, т. к. иначе это приводило бы к некорректности результата. Результаты корреляционного анализа между остатками рядов данных Y и N приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициент корреляции	Значение $r_k(E^Y, E^N)$	Значение $r_k(E^N, E^Y)$
r_0	0,19	0,19
r_1	0,46	0,19
r_2	0,69	-0,30
r_3	0,40	-0,66

Анализ этих результатов показывает, что

- 1) коэффициенты $r_0(E^Y, E^N)$ и $r_0(E^N, E^Y)$ близки к нулю, что свидетельствует о слабой взаимосвязи первого типа между рядами;
- 2) значимыми являются как коэффициенты $r_k(E^Y, E^N)$, так и коэффициенты $r_k(E^N, E^Y)$, где $k \neq 0$, что свидетельствует о взаимном влиянии этих рядов и о наличии взаимосвязи второго типа между ними;
- 3) $\text{Arg max}|r_k(E^N, E^Y)| = 3$, что свидетельствует о наличии трёхлетнего временного лага влияния противопожарной пропаганды на количество пожаров;
- 4) $\text{Arg max}|r_k(E^Y, E^N)| = 2$, что свидетельствует о наличии двухлетнего временного лага обратного влияния количества пожаров на противопожарную пропаганду.

Полученная отрицательная корреляционная зависимость с лагом в 3 года между количеством сообщений о пожарах, являющихся отражением интенсивности противопожарной пропаганды, и количеством пожаров (табл. 2) свидетельствует о явном профилактическом влиянии соответствующих противопожарных мероприятий. Эти выводы согласуются с результатами работы [10], где также обнаружена отрицательная корреляционная зависимость с лагом в 3 года между интенсивностью противопожарных мероприятий (величиной штрафных санкций) и вероятностью возникновения пожаров на хозяйственных объектах города Воронежа.

Заключение

На основании проведённых статистических исследований получены результаты, свидетельствующие о существенной взаимосвязи между числом пожаров в Воронежской области и количеством сообщений СМИ по противопожарной пропаганде с временным лагом между ними.

Данное обстоятельство целесообразно учитывать при принятии управленческих решений в государственной противопожарной службе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. — М.: МИРБ МВД РФ, Юникс, 1998. — 255 с.
2. Акимов В.А., Быков А.А., Щетинин Е.Ю. Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. — 524 с.
3. Тростянский С.Н., Шуткин А.Н., Бакаева Г.А. Экономический подход к прогнозированию пожарных рисков на объектах различных форм собственности // Вестник Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2011. — №1. — С.27—29.
4. Богуславский Е.И., Белозеров В.В., Богуславский Н.Е. Прогнозирование, анализ и оценка пожарной безопасности: учебное пособие / под общ. ред. Е.И. Богуславского. — Ростов н/Д: РГСУ, 2004. — 126 с.

5. Меньших А.В. Компьютерная модель выявления структуры пожарной статистики // Математические методы и информационно-технические средства: труды VIII Всероссийской научно-практической конференции. 22—23 июня 2012 г. — Краснодар: Краснодарский университет МВД России, 2012. — С. 132—134.
6. Меньших А.В. Полифрактальность временных рядов пожарной статистики // Математическое моделирование фрактальных процессов, родственные проблемы анализа и информатики: Материалы Второй Международной конференции молодых ученых. — Нальчик: ООО «Редакция журнала «Эльбрус». — 2012. — С. 169—172.
7. Меньших А.В., Тростянский С.Н. Моделирование структуры временных рядов пожарной статистики // Вестник Воронежского института МВД России. — 2012. — № 4. — С. 97—103.
8. Меньших А.В. Обоснование общего вида авторегрессионной модели динамики пожаров // Человек. Природа. Общество. Актуальные проблемы: материалы Международной молодежной конференции. — Воронеж: Научная книга, 2012. — С. 68—70.
9. Эконометрика / под ред. И.И. Елисеевой. — М.: Проспект, 2011. — 288 с.
10. Тростянский С.Н., Зенин Ю.Н., Бакаева Г.А. Математическое моделирование вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — 2012. — Ч.1. — С.256—259.