

## РЕАЛИЗАЦИЯ ВРЕМЕННОГО ПРОГНОЗА ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПАРАМЕТРОВ

Рассматривается прогноз на базе параметрических моделей амплитудного и фазового спектров количества вызовов скорой помощи по астме в день, параметрами-аргументами в которых являются амплитудные спектры количества нулей первых, вторых, третьих, четвертых производных приливных изменений силы тяжести.

Для реализации прогноза был осуществлен спектральный анализ [4] следующих параметров исследования за первые 100 дней работы скорой помощи города Оренбурга в 2006 году:

- количество нулей скоростей приливных изменений силы тяжести;
- количество нулей ускорений приливных изменений силы тяжести;
- количество нулей третьих производных приливных изменений силы тяжести;
- количество нулей четвертых производных приливных изменений силы тяжести;
- общее количество вызовов скорой помощи в день по астме.

Результаты спектрального анализа:

**Параметр-количество нулей скоростей приливных изменений силы тяжести**  
Максимальная по амплитуде гармоника – 7  
Модель по максимальной гармонике

$$y = 3,303189 + (0,945004) * \cos((2 * \pi * t / t_p) * 7 + (-1,226088)),$$

где  $\pi = 3,14\dots$ ,  $t_p$  – период процесса = 99,000, период гармоника = 14,143  
фаза = -1,226

Средняя абсолютная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,032027  
Средняя относительная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,96757%

**Параметр-количество нулей ускорений приливных изменений силы тяжести**  
Максимальная по амплитуде гармоника – 7  
Модель по максимальной гармонике

$$y = 3,555688 + (0,649259) * \cos((2 * \pi * t / t_p) * 7 + (-1,120578)),$$

где  $\pi = 3,14\dots$ ,  $t_p$  – период процесса = 99,000, период гармоника = 14,143  
фаза = -1,121

Средняя абсолютная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,030155  
Средняя относительная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,84706%

**Параметр-количество нулей третьих производных приливных изменений силы тяжести**

Максимальная по амплитуде гармоника – 13  
Модель по максимальной гармонике  
 $y = 3,868861 + (0,176952) * \cos((2 * \pi * t / t_p) * 13 + (-1,108023)),$

где  $\pi = 3,14\dots$ ,  $t_p$  – период процесса = 99,000, период гармоника = 7,615  
фаза = -1,108

Средняя абсолютная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,021261  
Средняя относительная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,54939%

**Параметр-количество нулей четвертых производных приливных изменений силы тяжести**

Максимальная по амплитуде гармоника – 14  
Модель по максимальной гармонике  
 $y = 4,320473 +$

$(0,374409) * \cos((2 * \pi * t / t_p) * 14 + (-2,265003)),$   
где  $\pi = 3,14\dots$ ,  $t_p$  – период процесса = 99,000, период гармоника = 7,071  
фаза = -2,265

Средняя абсолютная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,037832

Средняя относительная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,87575%

**Параметр – общее количество вызовов скорой помощи в день по астме**

Максимальная по амплитуде гармоника – 6  
Модель по максимальной гармонике

$$y = 12,435560 +$$

$$+ (1,310812) * \cos((2 * \pi * t / t_p) * 6 + (-4,531211)),$$

где  $\pi = 3,14\dots$ ,  $t_p$  – период процесса = 99,000, период гармоника = 16,500 фаза = -4,531

Средняя абсолютная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 0,27570

Средняя относительная ошибка аппроксимации по 100 гармоникам – 2,2270%

По результатам спектрального анализа была построена матрица исследования для 95 гармоник со следующими параметрами-столбиками:

- (количество нулей скоростей приливных изменений силы тяжести)at
- (количество нулей скоростей приливных изменений силы тяжести)f
- (количество нулей ускорений приливных изменений силы тяжести)at
- (количество нулей ускорений приливных изменений силы тяжести)f
- (количество нулей третьих производных приливных изменений силы тяжести)at
- (количество нулей третьих производных приливных изменений силы тяжести)f
- (количество нулей четвертых производных приливных изменений силы тяжести)at
- (количество нулей четвертых производных приливных изменений силы тяжести)f
- (общее количество вызовов в день по астме)at
- (общее количество вызовов в день по астме)f.

Здесь at – амплитудный спектр, f – фазовый спектр.

На построенной матрице исследования со спектральными характеристиками был проведен корреляционный [1] и факторный анализ [2-3].

Результаты корреляционного анализа:

Таблица 1. Корреляционная матрица R

параметр 9 – (общее количество вызовов в день по астме)at	
.99   .17   .99   .19   .99   .19   .99   .11   1.00   .19	
с параметром – (количество нулей скоростей) at	коэффициент корреляции= .986
с параметром – (количество нулей ускорений) at	коэффициент корреляции= .989
с параметром – (количество нулей третьих производных) at	коэффициент корреляции= .994
с параметром – (количество нулей четвертых производных) at	коэффициент корреляции= .994
с параметром – (общее количество вызовов в день) at	коэффициент корреляции= 1.000
параметр 10 – (общее количество вызовов в день по астме) f	
.19   .07   .18   .08   .20   .03   .19   -.13   .19   1.00	
с параметром – (общее количество вызовов в день) f	коэффициент корреляции= 1.000

**Результаты факторного анализа:  
число факторов 6**

Таблица 2. Сумма квадратов нагрузок по факторам

НОМЕР ФАКТОРА	СУММА КВАДРАТОВ НАГРУЗОК
1	4.962
2	1.003
3	1.001
4	1.005
5	1.001
6	.998

Таблица 3. Объединение по фактору 1

НОМЕР	НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НАГРУЗКА
1	(количество нулей скоростей) at	.9853
3	(количество нулей ускорений) at	.9888
5	(количество нулей третьих производных) at	.9905
7	(количество нулей четвертых производных) at	.9911
9	(общее количество вызовов в день по астме) at	.9896

в факторе – 1 базовый параметр – 7 (количество нулей четвертых производных)at

Таблица 4. Объединение по фактору 4

НОМЕР	НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НАГРУЗКА
2	(количество нулей скоростей) f	.9859

в факторе - 4 базовый параметр - 2 (количество нулей скоростей) f

Таблица 5. Объединение по фактору 2

НОМЕР	НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НАГРУЗКА
4	(количество нулей ускорений) f	.9729

в факторе - 2 базовый параметр - 4 (количество нулей ускорений) f

Таблица 6. Объединение по фактору 6

НОМЕР	НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НАГРУЗКА
6	(количество нулей третьих производных) f	.9669

в факторе - 6 базовый параметр - 6 (количество нулей третьих производных) f

Таблица 7. Объединение по фактору 5

НОМЕР	НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НАГРУЗКА
8	(количество нулей четвертых производных) f	.9852

в факторе - 5 базовый параметр - 8 (количество нулей четвертых производных) f

Таблица 8. Объединение по фактору 3

НОМЕР	НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НАГРУЗКА
10	(общее количество вызовов в день по астме) f	.9879

в факторе - 3 базовый параметр - 10 (общее количество вызовов в день по астме) f

Как видно из результатов корреляционного и факторного анализов, амплитудный спектр общего количества вызовов по астме в день обусловлен амплитудными спектрами количества нулей первых, вторых, третьих и четвертых производных приливных изменений силы тяжести.

Про фазовый спектр общего количества вызовов скорой помощи по астме в день этого сказать нельзя.

В связи с этим были построены модели параметрического прогноза для амплитудного и фазового спектров общего количества вызовов по астме в день на базе параметров-аргументов:

x1 – амплитудный спектр количества нулей скоростей приливных изменений силы тяжести;

x3 – амплитудный спектр количества нулей ускорений приливных изменений силы тяжести;

x5 – амплитудный спектр количества нулей третьих производных приливных изменений силы тяжести;

x7 – амплитудный спектр количества нулей четвертых производных приливных изменений силы тяжести.

Модель для амплитудного спектра общего количества вызовов скорой помощи по астме в день:

$$\begin{aligned}
 A = & +(-.395942995307311D+02)*(x1)**4+ (1) \\
 & +(.316426028474668D+02)*(x1)**3+ \\
 & +(-.216758809394128D+02)*(x1)**2+ \\
 & +(.501238908086004D+01)*(x1)**1+ \\
 & +(.375403032849193D+03)*(x3)**4+ \\
 & +(-.219069394693852D+03)*(x3)**3+ \\
 & +(.292540253012737D+02)*(x3)**2+ \\
 & +(.686341255256446D+00)*(x3)**1+ \\
 & +(-.277380572031624D+03)*(x5)**4+ \\
 & +(.494972019320133D+03)*(x5)**3+ \\
 & +(-.969560405905587D+02)*(x5)**2+ \\
 & +(.498874096732412D+01)*(x5)**1+ \\
 & +(.188528686686677D+01)*(x7)**4+ \\
 & +(-.897588481929460D+02)*(x7)**3+ \\
 & +(.354514266997895D+02)*(x7)**2+ \\
 & +(-.223198383187005D+01)*(x7)**1+ \\
 & +(.295644295437213D-01),
 \end{aligned}$$

где в (1)

\* – операция умножения,

\*\* – операция возведения в степень,

mDp = m\*10\*\*p.

Средняя абсолютная ошибка аппроксимации по модели (1) – 0,13944.

Таблица 9. Вклады параметров-аргументов в модели (1)

Номер	Название параметра	Вклад
1	(количество нулей : : скоростей) at	.03529
3	(количество нулей : : ускорений) at	.42878
5	(количество нулей : : третьих произ- : : водных) at	.50661
7	(количество нулей : : четвертых произ- : : водных) at	.02931

Модель для фазового спектра общего количества вызовов скорой помощи по астме в день:

$$f = +(-.119728280692154D+04)*(x1)**4 + (2) + (.153808814232968D+04)*(x1)**3 + (-.358046910958434D+03)*(x1)**2 + (.194298768144801D+02)*(x1)**1 + (-.155446272084636D+04)*(x3)**4 + (.144118524600957D+04)*(x3)**3 + (-.453788757724872D+03)*(x3)**2 + (.488566453582845D+02)*(x3)**1 + (-.351891827970320D+04)*(x5)**4 + (.113564115482878D+04)*(x5)**3 + (-.928079757306965D+02)*(x5)**2 + (.269199902087350D+00)*(x5)**1 + (.341171135570818D+04)*(x7)**4 + (-.253695478073928D+04)*(x7)**3 + (.576743519681706D+03)*(x7)**2 + (-.468257374560067D+02)*(x7)**1 + (-.341757599453560D+01),$$

где в (2)

- \* – операция умножения,
- \*\* – операция возведения в степень,
- mDp = m\*10\*\*p.

Средняя абсолютная ошибка аппроксимации по модели (2) – 1,25694.

Таблица 10. Вклады параметров-аргументов в модели (2)

Номер	Название параметра	Вклад
1	(количество нулей : : скоростей) at	.06672
3	(количество нулей : : ускорений) at	.10993
5	(количество нулей : : третьих произ- : : водных) at	.31978
7	(количество нулей : : четвертых произ- : : водных) at	.50357

По амплитудным спектрам количества нулей первых, вторых, третьих и четвертых производных приливных изменений силы тяжести определялись по моделям (1), (2) амплитудный и фазовый спектры общего количества вызовов скорой помощи в день по астме, и далее по гармоническим моделям осуществлялся прогноз общего количества вызовов скорой помощи в день по астме.

Ошибки прогноза для различного количества наблюдений приведены в таблице 11.

Таблица 11. Ошибки прогноза

Число наблюдений	Средняя абсолютная ошибка
10	3,2
20	2,73
30	2,574
40	2,78
50	2,602
60	2,9
70	2,7
80	2,96
90	2,83
100	2,59
110	3,02
120	2,81
130	2,84
140	2,66
150	2,78

Поскольку среднее значение общего количество вызовов по астме в день 12,46, то средняя относительная ошибка прогноза – 22,5%.

То есть данный подход можно использовать для прогноза общего количества вы-

зовов скорой помощи по астме в день по спектральным характеристикам приливных изменений силы тяжести.

Такой же подход можно использовать во многих областях многомерных исследований.

---

**Список использованной литературы:**

1. Драйпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, 1973.
2. Харман Г. Современный факторный анализ. – М.: Статистика, 1972.
3. Иберла К. Факторный анализ. – М.: Статистика, 1980.
4. Бендат Д. Ж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1974.

**Статья поступила в редакцию 7.06.07**