

# АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

## СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВРЕМЕННОГО РЯДА

При анализе временного ряда выделяют три составляющие: тренд, сезонность и шум. Тренд - это общая тенденция, сезонность, как следует из названия - влияния периодичности (день недели, время года и т.д.) и, наконец, шум - это случайные факторы.

Что бы понять отличие этих трёх величин, смоделируем функцию расстояния от земли до луны. Известно, что в среднем луна каждый год отдаляется на 4 см - это тренд, в течение дня луна совершает оборот вокруг земли и расстояние колеблется от ~362600 км до ~405400 км - это сезонность. Шум - это "случайные" факторы, например, влияние других планет. Если мы изобразим сумму этих трёх графиков, то мы получим временной ряд - функцию, показывающую изменение расстояния от земли до луны во времени.

*График 1. Тренд*

*График 2. Сезонность*

*График 3. Шум*

## ТРЕНД. МЕТОДЫ СГЛАЖИВАНИЯ

Методы сглаживания необходимы для удаления шума из временного ряда. Существуют различные способы сглаживания, основные - это метод скользящей средней и метод экспоненциального сглаживания.

### | МЕТОД СКОЛЬЗЯЩЕЙ СРЕДНЕЙ

Идея метода скользящего среднего заключается в смещении точки графика на среднее значение некоторого интервала. В качестве интервала берут нечётное количество участков, например, три - предыдущий, текущий и следующий периоды, находится среднее и принимается в качестве сглаженного значения:

$$S_i = \sum_{j=-k}^k (x_{i+j}) / (2k+1)$$

У данного метода есть проблема: случайное высокое или низкое значение сильно влияют на скользящую линию. В качестве решения были введены веса. Для распределение веса используют оконные функции, основные оконные функции - это окно Дирихле (прямоугольная функция), В-сплайны, полиномы, синусоидальные и косинусоидальные:

**График 4.** Окно Ганна для  $n=5$  (косинусоидальное окно)

**График 5.** Синусоидальное окно для  $n=5$

Минусы использования скользящей средней - это сложность вычислений и некорректные данные на концах графика.

Исходные данные	Скользящая средняя	Взвешенная скользящая средняя (синусоидальное окно, $n=5$ )	Взвешенная скользящая средняя (окно Ганна, $n=5$ )
800	815	283	0
829	815	462	400
816	862	493	415
1004	1009	528	408
1388	1072	641	502
1080	1091	715	694
890	1202	673	540
1451	1071	670	445
864	1073	673	726
1088	1548	665	432
2790	1897	918	544
2846	2364	1393	1395
2732	2575	1688	1423
1931	2560	1527	1366
2732	2259	1449	966
1640	2572	1314	1366
3984	2982	1597	820
3571	3313	1917	1992
4058	3341	2314	1786
1750	3126	2607	2029

**Таблица 1.** Сглаживание методом скользящей средней

**График 6.** Сглаживание скользящей средней. Красный - исходные данные, персиковый - скользящая средняя, жёлтая и охра - скользящая средняя, взвешенная синусоидальным окном с  $n=7$  и  $n=3$  соответственно

Как видно из графика, увеличение  $n$  выдаёт более плавную функцию, таким образом нивелируя более мелкие колебания во временном ряду. Обратите внимание, что при сглаживании не имеет значения, совпадает график среднего с графиком данных или нет, целью является построение **правильной формы**.

## | МЕТОД ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ

Метод экспоненциального сглаживания получил своё название потому, что в сглаженной функции экспоненциально убывает влияние предыдущего периода с неким коэффициентом чувствительности  $\alpha$ . Сглаженное значение находится как разница между предыдущим действительным значением и рассчитанным значением:

$$D'_t = \alpha \cdot D_{t-1} + (1-\alpha) \cdot D'_{t-1}$$

Коэффициент чувствительности,  $\alpha$ , выбирается между 0 и 1, в качестве базиса используют значение 0,3. Если есть достаточная выборка, то коэффициент подбирается путём оптимизации.

Исходные данные	Экспоненциальное сглаживание, $\alpha=0,1$	Экспоненциальное сглаживание, $\alpha=0,6$
800	800	800
829	-640	160
816	659	433
1004	-512	316
1388	561	476
1080	-366	642
890	437	391
1451	-304	378
864	419	719
1088	-291	231
2790	371	560
2846	-55	1450
2732	334	1128
1931	-27	1188
2732	217	683
1640	78	1366
3984	94	438
3571	314	2215
4058	75	1257
1750	338	1932

**Таблица 2.** Экспоненциальное сглаживание

**График 7.** Экспоненциальное сглаживание с  $\alpha=0,1$  (персиковая линия) и  $\alpha=0,6$  (жёлтая линия)

## МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Методы прогнозирования основываются на выявлении тенденции во временном ряду и последующем использовании найденного значения для предсказания будущих значений. В методах прогнозирования выделяют тренд и сезонность, в общем случае, все типы сезонности могут быть найдены последовательными итерациями. Например, при анализе данных за год, можно выделить сезонность времени года, а в оставшемся тренде найти сезонность по дням недели и так далее.

### ДВОЙНОЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЕ СГЛАЖИВАНИЕ

Двойное экспоненциальное сглаживание выдаёт сглаженное значение уровня и тенденции.

Smooth - сглаживание, сглаженный уровень на период  $t$ ,  $s_t$ , зависит от значения уровня на текущий период ( $D_t$ ), тренда за предыдущий период ( $t_{t-1}$ ) и

рассчитанного сглаженного значения на предыдущий период ( $s_{\tau-1}$ ):

$$s_{\tau} = \alpha D_{\tau} + (1 - \alpha)(s_{\tau-1} + t_{\tau-1})$$

Trend - тенденция, тренд на период  $\tau$ ,  $t_{\tau}$ , зависит от рассчитанного сглаженного значения за предыдущий и текущий периоды ( $s_{\tau}$  и  $s_{\tau-1}$ ) и от предыдущей тенденции:

$$t_{\tau} = \beta(s_{\tau} - s_{\tau-1}) + (1 - \beta)t_{\tau-1}$$

Рассчитанные по данным формулам уровень и тренд могут быть использованы в прогнозировании:

$$D'_{\tau+h} = s_{\tau} + h \cdot t_{\tau}$$

При расчёте, значения  $s$  и  $t$  для первого периода назначают  $s_1 = D_1$  и  $t=0$

**График 8.** Данные (красная линия), экспоненциальное сглаживание (персиковая линия), тренд (жёлтая линия) и прогноз (линия цвета охры) методом экспоненциального сглаживания

## МЕТОД ХОЛЬТ-ВИНТЕРСА

Метод Хольт-Винтерса включает в себя сезонную составляющую, т.е. периодичность. Существуют две разновидности метода - мультипликативный и аддитивный. В отличие от двойного экспоненциального сглаживания, метод Хольт-Винтерса изучает также влияние периодичности.

Общая идея нахождения значений сглаженного уровня, тренда и периодичности заключается в следующем: сглаженный уровень ( $s$  - smooth, иногда используют  $l$  - level) - это базовый уровень значений, тренд ( $t$  - trend) - это показатель скорости роста, разница между сглаженными значениями текущего и предыдущего периода. Для изучения периодичности ( $p$  - period), мы разбиваем данные на периоды размером  $k$  и выделяем влияние каждого элемента ( $1, 2, \dots, k$ ) периода на сглаженный уровень.

Для более точных расчётов вводится показатель обратной связи. В общем понимании, обратная связь - это влияние предыдущих значений на новые: например, когда Вы начинаете говорить, Вы регулируете громкость своего голоса в зависимости от того, что слышат Ваши уши - это и есть обратная связь.

Для начала расчётов, значения  $s$ ,  $t$  и  $k$ , в самом простом виде, могут быть выбраны как  $s_\tau = D_\tau$ ,  $t = 0$ ,  $p = 0$ .

$k$  - длина выбранного периода:

$$s_\tau = \alpha(D_\tau - p_{\tau-k}) + (1 - \alpha)(s_{\tau-1} + t_{\tau-1})$$

С поправкой на предыдущие значения  $t_{\tau-k}$  (обратная связь)

$$t_\tau = \beta(s_\tau - s_{\tau-1}) + (1 - \beta)t_{\tau-1}$$

С поправкой на предыдущие значения  $p_{\tau-k}$  (обратная связь)

$$p_\tau = \gamma(D_\tau - s_\tau) + (1 - \gamma)p_{\tau-k}$$

Для прогнозирования используется следующая формула:

$$x_{\tau+h} = D_\tau + ht_\tau + p_{\tau-k+h}$$

## МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫЙ МЕТОД ХОЛЬТ-ВИНТЕРСА

Мультипликативный метод отличается от аддитивного тем, что параметры, влияющие на периодичность и сглаженный уровень рассчитываются отношением:

$$p_\tau = \gamma(D_\tau/s_\tau) + (1 - \gamma)p_{\tau-k}$$

$$s_\tau = \alpha(D_\tau/p_{\tau-k}) + (1 - \alpha)(s_{\tau-1} + t_{\tau-1})$$

$$t_\tau = \beta(s_\tau - s_{\tau-1}) + (1 - \beta)t_{\tau-1}$$

Для прогнозирования используется следующая формула:

$$x_{\tau+h} = (D_\tau + ht_\tau)p_{\tau-k+h}$$

## КАЧЕСТВО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Проверка качества прогнозирования возможна в случае наличия достаточной выборки и является важной проверкой на достоверность прогноза, для проверки и оптимизации значений  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  необходимо построить прогноз на существующие данные, например, если у нас в наличии данные за пять лет и

мы хотим предсказать следующий год, то необходимо построить модель на первых четырёх годах, проверить и оптимизировать коэффициенты для минимизации ошибки между прогнозом и данными на 5й год. После оптимизации модель может быть перестроена с учётом последнего периода для повышения точности, далее следует построение прогноза.

Методы оптимизации будут описаны в отдельной статье, ниже представлен пример прогнозирования методом Холт Винтерса.

**График 9.** Данные о посещаемости сайта за четыре недели

#	Данные	s	t	p	s	t	p
1	93	93	0	0	93	0	0
2	91	92	-0.1	-0.5	92	-0.1	0.99
3	72	84	-0.89	-6	84	-0.89	0.93
4	75	80	-1.2	-2.5	80	-1.2	0.97
5	75	77	-1.38	-1	77	-1.38	0.99
6	57	68	-2.14	-5.5	68	-2.14	0.92
7	66	66	-2.13	0	66	-2.13	1
8	123	88	0.28	17.5	38	-4.72	1.62
9	85	87	0.15	-1.25	54	-2.65	1.28
10	85	89	0.34	-5	67	-1.09	1.1
11	91	91	0.51	-1.25	77	0.02	1.08
12	102	96	0.96	2.5	87	1.02	1.08
13	73	90	0.26	-11.25	85	0.72	0.89
14	60	78	-0.97	-9	75	-0.35	0.9
15	99	79	-0.77	18.75	69	-0.92	1.53
16	108	91	0.51	7.88	75	-0.23	1.36
17	98	96	0.96	-1.5	80	0.29	1.16
18	104	100	1.26	1.38	87	0.96	1.14
19	83	93	0.43	-3.75	84	0.56	1.03
20	68	88	-0.11	-15.63	81	0.2	0.86
21	62	81	-0.8	-14	76	-0.32	0.86
22	59	64	-2.42	6.88	61	-1.79	1.25
23	80	66	-1.98	10.94	59	-1.81	1.36
24	121	87	0.32	16.25	76	0.07	1.38
25	112	97	1.29	8.19	85	0.96	1.23
26	85	94	0.86	-6.38	85	0.86	1.02
27	106	106	1.97	-7.82	101	2.37	0.95
28	82	103	1.47	-17.5	100	2.03	0.84

**График 9.** Пример предсказания посещаемости сайта на основе данных за четыре недели. Жёлтая линия - исходные данные, красная - прогноз на пятую неделю на основе первых четырёх. Закрашена линия сглаженного уровня при  $\alpha=0.4$ ,  $\beta=0.1$ ,  $\gamma=0.5$

**УДК: ГРНТИ:**

**Автор статьи:** Телятников Захар Александрович

**Дата написания статьи:** 10.06.2017

**Дата редакции статьи:** 01.01.1970

**Адрес статьи в интернете:**

[http://k-tree.ru/articles/statistika/prognozirovanie/analiz\\_vremennih\\_ryadov](http://k-tree.ru/articles/statistika/prognozirovanie/analiz_vremennih_ryadov)

**Дата формирования документа:** 24.01.2018 10:27

---

*Все материалы данного файла являются объектами авторского права (в том числе дизайн).  
Запрещается копирование, распространение (в том числе путем копирования на другие сайты и ресурсы в Интернете) или любое иное использование информации и объектов без предварительного согласия правообладателя.*