## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ Сухарев И.Г.

Сухарев Илья Георгиевич – кандидат технических наук, заместитель директора, ООО «Эспиро», г. Москва

Аннотация: в статье показаны возможности прогнозирования, основанные на вычислении текущих спектров временных процессов. Рассмотрены примеры практического построения прогнозных функций. Ключевые слова: прогнозирование, физика времени, метод обратного отсчета, обобщенная прогнозная формула.

В статье [1] было показано, что метод обратного отсчета, использованный для анализа текущих спектров временных процессов, обладает потенциалом использования его для цели прогнозирования. Потенциал возможностей прогнозирования заключается первоначально в самом подходе к анализу временных процессов, допускающим наличие в анализируемых текущих спектрах парциальных волн, распространяющихся из прошлого в будущее (прямых волн), так и волн, распространяющихся из будущего в прошлое (ретроградных волн). В более общем смысле следует принять, что любой анализируемый временной процесс формируется суперпозицией разнонаправленных волновых фронтов. При этом сам факт наличия и равноценного участия прямых и ретроградных волн в формировании текущих спектров зафиксирован в статье [1] на примере анализа эволюции биржевых цен. Настоящая публикация посвящена анализу, методам и практике прогнозирования процессов, разворачивающихся во времени.

В качестве инструмента, используемого для вычисления амплитуд и фаз парциальных волн в методе обратного отсчета [1], использованы соотношения для вычисления членов ряда Фурье. При этом способ их вычисления был скорректирован в соответствии с поставленной целью исследования. Подобная корректировка необходима и для случая постановки задачи прогнозирования. Рассматривая разложение в ряд Фурье какого-либо отрезка функции, имеющего во времени начало и конец, и задачу прогнозирования, можно сразу отметить принципиальную разницу в целях, которые преследуют эти действия. Цель первого действия – максимально точное воспроизведение функции конечным числом членов ряда. Цель прогнозирования – расчет того, что может произойти с функцией в будущем. Если же рассматривать продолжение ряда Фурье в сторону будущего за точкой окончания функции, то там увидим лишь периодическое повторение той же самой картины, что была воспроизведена рядом в пределах исходной функции. Иллюстрацией к сказанному служит рис. 1. Исходными данными для расчета ряда Фурье (рис. 1) были выбраны котировки EUR/USD с 30.08.2000г. по 30.08.2006 г. Из рис. 1 видно, что ряд Фурье из 5 членов ожидаемо воспроизводит исходную функцию на выбранном промежутке, но не имеет ничего общего с тем, что реально происходит далее с графиком EUR/USD в последующие 6 лет.



Рис. 1. Отрицательный результат применения разложения в ряд Фурье для целей прогнозирования

К еще более печальному итогу в смысле результата приводит попытка «спрогнозировать» движение EUR/USD с помощью полинома 32 степени (рис. 2).



Рис. 2. Отрицательный результат применения полиномиального разложения для прогнозирования

Итак, целью прогнозирования является максимально возможно точный расчет того, что произойдет с функцией в будущем за пределами точки ее текущего наблюдения с использованием заложенных внутри функции механизмов ее эволюции. Именно для этой цели может быть использован метод обратного отсчета [1].

Классификация парциальных волн. Далее будет приведено достаточно много графического материала, посвященного исследованию особенностей эволюций амплитуд и фаз парциальных волн, вычисленных по историческим данным котировок EUR/USD начиная с 1975г. Аналитически вычисленные котировки с 1975г. до официальной даты рождения евро и далее фактические котировки взяты из [2]. Во всех графиках по оси X отложено время в днях. За начало отсчета принята дата 23.04.13. Параллельно с результатами, полученными по данным биржевых котировок, будут также приводиться примеры расчета по метеоданным, взятым из [3] (Метеостанция Шереметьево (аэропорт), Россия, WMO\_ID=27514, выборка ежедневных отсчетов температуры Tn с 21.05.2005 по 21.05.2013, все дни). В графиках расчета по метеоданным за начало отсчета взята дата 21.05.2005, а сами отсчеты соответствуют местному времени 10-00.

Для удобства ориентирования в графиках реальных фаз парциальных волн, а также для их классификации, имеет смысл рассмотреть график фазы некой идеальной парциальной волны, например,

## $\cos\left(2\pi\frac{x}{\tau}\right)$ ,

где T=365.26 дней. Речь идет об аргументе функции cos(). Это линейная функция y= $2\pi x/T$ , но с учетом установленной области определения [- $\pi/2$ ,  $3\pi/2$ ], испытывающая скачки фазы в - $2\pi$  всякий раз при достижении верхней границы области определения, рис. 3.



Рис. 3. График фазы идеальной парциальной волны

Что касается амплитуды, то она у рассмотренной идеальной волны является константой. Дальнейшая классификация реальных парциальных волн будет определяться степенью их отличия от рассмотренной идеальной волны.

Обычные волны. Под таким условным обозначением будем рассматривать те волны, вернее, те интервалы на оси времени, где соответствующие парциальные волны имеют графики фаз, близкие к рис. 3. Примером такого поведения фазы может служить график df<sub>1</sub> (период T\*1.73), рис. 4. График фазы df<sub>1</sub> на рис. 4 изображен слегка искривленными наклонными линиями, почти совпадающими с прямыми линиями идеальной фазовой характеристики соответствующей функции (с тем же периодом). В качестве фона приведен график котировок EUR/USD, дающий исходные данные для анализа. Конечно, если бы все парциальные волны были подобны df<sub>1</sub> (рис. 4), то задача прогнозирования имела бы почти элементарное решение.



Рис. 4. Пример поведения фазы обычной волны

Действительно, имея вычисленные значения фаз в текущей точке времени, можно просто продолжить их в будущее линейной экстраполяцией. Поступая таким же образом с амплитудами и суммируя эти «идеальные» гармоники подобно ряду Фурье, можно было бы дать весьма точный прогноз. Прогнозная функция в этом случае может быть записана:

$$f(x) = A + \sum_{n=1}^{N} A_n \cos\left(2\pi \frac{x}{T_n} + \theta_n\right)$$
(1),

где  $A_n$ ,  $T_n$  и  $\Theta_n$  – амплитуда, период и фаза п-й парциальной волны в составе вычисленного текущего спектра. Такой подход имеет право на жизнь для тех возможных случаев, когда все или вносящие основной вклад парциальные функции имеют вид близкий к идеальной волне. Надо обратить внимание, что в случае (1) прогноз опирается также на предположение, что парциальные волны, составляющие сумму, сохранят в будущем свою форму, близкую к идеальной. Однако, даже на рис. 4 можно заметить, что реальный график фазы все же отличается от идеального, о чем можно судить по несовпадению их угла наклона на различных участках. Дополнительные вопросы возникают при рассмотрении графика амплитуды этой же волны, рис. 5. Из рис. 5 видно, что на том же самом участке, где график фазы dfl выглядит почти идеально, наблюдаются более чем 25% флуктуации амплитуды относительно среднего уровня, само среднее значение показывает рост, тогда как у идеальной волны амплитуда должна быть константой.



Другой иллюстрацией фазы обычной волны, почти близкой к идеальной, является график фазы af<sub>0</sub> (период равен Т), полученной по метеоданным, рис. 6.



Рис. 6. График фазы волны а0 периода Т=365.26 д., рассчитанный по отсчетам температуры с шагом в 1 д.

Фоном на рис.6 изображен график, построенный на основе ежедневных отсчетов температуры воздуха в 10-00. Немного отвлекаясь от темы классификации парциальных волн, отметим, чем еще интересен график, рис. 6. То, что он получился почти идеальным, есть факт ожидаемый, так как волна  $af_0$  имеет период T=365.26 дней равный естественному годовому циклу. Интересно, однако, отметить даты точек, когда совершаются фазовые переходы через  $y=3\pi/2$ ; 0;  $\pi/2$  и  $y=\pi$ , табл. 1.

фазовый переход	даты			
y=3π/2	27.04.10 3:02	22.04.11 7:21	23.04.12 13:01	26.04.13 11:13
y=0	24.07.10 10:03	21.07.11 15:00	24.07.12 9:08	
у=π/2	22.10.10 5:07	21.10.11 14:28	25.10.12 13:17	
у=π	22.01.10 16:46	20.01.11 0:28	22.01.12 4:08	24.01.13 4:30

Таблица 1. Фазовые переходы волны а<sub>0</sub>

Как видно из табл. 1, даты фазовых переходов сдвинуты примерно на 1 месяц относительно соответствующих дат летних и зимних солнцестояний, весенних и осенних равноденствий.

Следующий часто наблюдаемый тип поведения парциальных волн характеризуется тем, что их фазы последовательно испытывают замедление и ускорение относительно соответствующего графика фазы идеальной волны. Иллюстрацией такого типа волны является график фазы df<sub>2</sub> (период T\*2.73), рис. 7.



Рис. 7. Замедленное и ускоренное поведение фазы df<sub>2</sub> относительно фазы идеальной волны

На рис. 7. на график фазы df<sub>2</sub> наложен отрезок графика фазы идеальной волны (прямые наклонные линии) и график амплитуды d<sub>2</sub>. График амплитуды для удобства нормирован к принятой размерности графика фаз. Рис. 7 показывает, что волна df<sub>2</sub> уже имеет характер, заметно отличающийся от идеальной волны. Следует также обратить внимание на то, что фаза волны df<sub>2</sub> испытывает последовательные синхронизации с фазой соответствующей идеальной волны в точках  $y=\pi$  и  $y=\pi/2$  (отмечены на рис. 8 треугольными метками). Что касается графика фазы через  $y=\pi/2$  и  $3\pi/2$ . Типичный пример поведения парциальной волны, испытывающей последовательно ускорения и замедления для метеонаблюдений, также демонстрирует фаза волны df<sub>2</sub>, рис. 8.



Рис. 8. Замедленное и ускоренное поведение фазы df2 поданным метеонаблюдений.

Перед рассмотрением следующего типа поведения парциальных волн надо отметить, что важной характеристикой волны является угол наклона ее графика фазы. У идеальной волны он постоянен и имеет положительное значение. У рассмотренных выше типов парциальных волн он, оставаясь положительным, изменяется во времени, то есть является функцией времени. В случае, когда угол наклона графика фазы волны, эволюционируя во времени, уменьшается и становится равным нулю,

можно говорить, что эта волна по отношению к наблюдателю уже перестает быть «волной». А когда далее угол наклона переходит в область отрицательных значений, можно с позиции наблюдателя говорить о встречном движении волны. Такой тип поведения парциальной волны можно назвать **ретроградным**. Иллюстрацией к нему может служить график фазы волны сf<sub>10</sub> (период T\*10.37), рис. 9.



Рис. 9. Фаза парциальной волны, имеющая участок ретроградного движения

На рис. 9 отчетливо видно, что угол наклона фазы в диапазоне [-3400,-2800], выделенном штриховкой, имеет отрицательные значения. После прохождения области ретроградного движения, график фазы волны сf<sub>10</sub> постепенно выравнивается и его угол наклона в правой части графика становится почти равным углу наклона соответствующей идеальной волны (отрезок прямой наклонной линии, рис. 9).

Парциальные волны, полученные по данным метеонаблюдений также не чужды явлению ретроградности. Характерный пример поведения фазы волны cf<sub>3</sub> (период T\*3.37) приведен на рис. 10. На протяжении 3 лет парциальная волна cf<sub>3</sub> дважды испытывает ретроградный характер движения. Анализируя поведение фаз парциальных волн в области ретроградности (рис. 9, 10), можно практически расстаться с прямой применимостью прогнозной функции, построенной на основе (1).



Рис. 10. Фазовая характеристика волны cf3

Действительно, точечно вычисленные значения амплитуд и фаз лишь при отсутствии информации о направлении движения волны, могут привести при применении (1) к прямо противоположному результату.

Настал момент сделать небольшое, но необходимое отступление от основной темы публикации. Термин **«ретроградное»** выбранный для обозначения рассматриваемого выше типа поведения парциальной волны, хорошо известен в астрономии и астрологии.



Рис. 11. Видимое с Земли ретроградное движение Марса

Им обозначается тот случай, когда видимое с Земли движение какой-либо планеты по эклиптике, начинает отличаться от движения звезд, - планета сначала начинает торможение, делает остановку, затем идет вспять, снова останавливается и, наконец, ускоренно возвращается к прямому движению. На рис. 11 показано, как такое видимое движение образуется на примере ретроградности Марса [4]. В результате имеем полную аналогию с поведением парциальной волны, рис. 9, 10. Действительно, точка наблюдения, что в отношении планет, что в отношении эволюции биржевых котировок, одна и та же, - поверхность планеты Земля. И тот, и другой случай есть наблюдение развития процесса во времени, только в случае с наблюдением движения планет нет необходимости вычленять их «парциальность», так как они уже находятся в подобном состоянии на своих орбитах и являются своеобразными индикаторами. Помимо случая ретроградного движения (рис. 11), планеты могут также демонстрировать видимое с Земли попеременно ускоренное и замедленное движение, не переходящее в фазу ретроградности (подобно рис. 7, 8), и также почти равномерное «обычное» движение (подобно рис. 4). В результате имеем что-то очень близкое к тому, что можно обозначить как «**печать времени».** В действительности, все три характерных типа поведения фаз парциальных волн, соответственно, как и видимые движения планет, естественным образом чередуются.



Рис. 12. Пример чередования ретроградного, обычного, ускоренного и замедленного движения волны

Пример такого чередования для волны с $f_4$  приведен на рис. 12. На рис. 12 видно, что, двигаясь слева направо по оси времени область ретроградности с $f_4$  переходит в область обычной волны и затем в область попеременно ускоренного и замедленного движения. Разумеется, и в случае с результатами метеорологических наблюдений есть примеры подобного поведения фаз парциальных волн.

Еще одно отступление. Обратим внимание на аналогии и вспомним, до научного признания того факта, что центром (фокусом) солнечной системы является собственно Солнце, расчет движения планет являлся для звездочетов делом достаточно трудоемким. Однако три закона Кеплера вкупе с признанием гелиоцентричности сделали расчет простым и доступным для учеников средней школы. Весьма вероятно, что тщательное исследование закономерностей эволюции фаз парциальных волн может привести к подобному открытию. Возможно, подтвердится, что Солнце является не только фокусом известных планетарных орбит, но и фокусом рассматриваемых парциальных волн, которым можно поставить в соответствие некие виртуальные или даже реальные планеты. В таком случае задача прогнозирования биржевых и природных эволюций сведется к применению все тех же трех законов Кеплера для соответствующих парциальных орбит. Конечно, и сейчас есть многочисленные и иногда успешные попытки астрологов предсказывать биржевые эволюции, но им явно не хватает обоснованности, конкретности и, самое главное, - доверия. Кроме того, в распоряжении астрологов весьма ограниченный ряд реальных инструментов-планет, по которым можно делать вычисления. Оставим, однако, поставленную задачу на будущее и вернемся к основной теме статьи.

**Прогнозирование**. Описанные выше три типа поведения парциальных волн не исчерпывают всего их многообразия, но они являются основными. Далее классификация волн может расширяться по мере рассмотрения деталей процессов, в которых они принимают участие. Однако, пора приступить к основной теме публикации, к прогнозированию временных процессов. Сначала еще раз отметим, что выявленные три основных типа поведения парциальных волн оставляют весьма малую область применимости формулы (1) для прогнозирования. И все же, сделаем попытку найти те ситуации, когда ее или ее модификации можно применять.

Основанием для анализа выберем результаты метеонаблюдений. Первое, на что следует обратить внимание, это распределение средних значений амплитуд в зависимости от условного номера N парциальной волны. Пример такого распределения приведен на рис. 13. Условный номер волны на рис. 13 является положительным для волн с периодом меньше T, отрицательным для волн с периодом больше T и равен нулю для волны A<sub>0</sub> с периодом T.



Как и отмечалось ранее, несомненной доминантой в распределении амплитуд парциальных волн должна быть и есть фактически амплитуда волны A<sub>0</sub> (с периодом T).



Рис. 14. Фазы волн Аf<sub>1</sub>, Af<sub>0</sub> и Cf<sub>1</sub>

Второй и третьей по значению являются амплитуды волн  $A_1$  (период T/1,37) и  $C_1$  (период T\*1,37). Рассматривая далее график фаз этих волн (рис. 14), их с уверенностью можно классифицировать как «обычные». Волны со значением условного номера N>1 и N<1 под классификацию «обычные» могут быть отнесены только на определенных избранных участках оси времени. Дополним картину «избранности» волн  $A_1$ ,  $A_0$  и  $C_1$  графиком эволюции их амплитуд, рис. 15.



Рис. 15. Амплитуды волн  $A_0$ ,  $A_1$  и  $C_1$ 

Здесь, конечно, картина не столь идеальна, как хотелось бы, но выбирать уже не приходится. При этом амплитуды все же демонстрируют относительную стабильность.

Итак, по критериям доминирования средних значений амплитуд (рис. 14), «обычности» фазовых характеристик (рис. 15) и относительной стабильности амплитуд во времени (рис. 16), попытаемся построить прогнозные функции согласно формуле (1) для двух произвольно выбранных точек времени с использованием парциальных функций С<sub>1</sub>, A<sub>0</sub>, и A<sub>1</sub>. В силу того, что выбранные парциальные волны являются медленными, то прогноз можно ожидать в смысле ожидаемого среднего значения температуры. Результат расчетов для первой точки х=1770 приведен на рис. 16.



## Рис. 16. Построение прогнозных функций

На рис. 16 построены две прогнозные кривые с использованием (1). Одна из них построена с использованием трех гармоник (С<sub>1</sub>, А<sub>0</sub>, и А<sub>1</sub>) и другая – по двум гармоникам (А<sub>0</sub>, и А<sub>1</sub>).



Рис. 17. Прогнозные функции для точки x=1880

Учитывая большую волатильность значений температуры непосредственно перед областью точки прогноза, значение постоянной A (1) скорректировано для прогнозных кривых на рис. 17 по точке пересечения линии x=1770 с линейной трендлинией, построенной по предшествующим 11 точкам. Из рис. 16 видно, что прогноз можно признать удовлетворительным на 70-80 дней (ориентировочно до точек x=1840...1850). Следующая иллюстрация, рис. 17, дает аналогичную картину прогноза в точке x=1880. На рис. 17 все обозначения подобны рис. 16, за исключением того, что трендлиния для определения постоянной составляющей была построена по предшествующим 30 точкам. Условно оценивать прогноз по рис. 17 можно двояко: в пределах первых 20-25 дней – неудовлетворительно и далее в пределах 30-90 дней – хорошо. Сознательно сейчас не вводятся в анализ среднеквадратичные отклонения и другие статистические оценки. Их время придет далее. А сейчас просто можно качественно оценить прогнозный результат и сделать вывод, - он явно нуждается в улучшении.

Улучшить качество прогноза позволяет **первый шаг**, модифицирующий (1). Для этого еще раз обратим внимание на рис. 15. Во-первых, из рис. 15 видно, что для улучшения прогноза в (1) можно подставить не вычисленные в текущей точке значения амплитуд, а заменяющие их соответствующие функции-трендлинии. Во-вторых, анализ флуктуаций амплитуд  $A_1$  и  $C_1$  показывает присутствие в них гармонической составляющей с периодом равным T/2. Почему это так пока не понятно, но невозможно не использовать этот экспериментальный факт для улучшения прогноза. В результате имеем прогнозные функции для амплитуд парциальных волн, рис. 18. Пунктирными линиями на рис. 18 изображены гармонические колебания амплитуд  $A_1$  и  $C_1$ , наложенные на их трендлинии. Попутно обнаруживается еще один интересный факт, - фазы колебаний  $A_1$  и  $C_1$  имеют взаимный сдвиг на  $\pi/2$ .



Рис. 18. Прогнозные функции амплитуд парциальных волн

Результат применения описанных модификаций для построения прогнозной функции представлен на рис. 19.



Рис. 19. Первый этап улучшения прогноза

Пунктирной линией 3 на рис. 19 показана модифицированная прогнозная кривая. Из рис. 19 видно, что модифицированная кривая дает улучшенный прогноз до 120 дней от текущей точки.

Вторым шагом, модифицирующим (1), является использование уточненных данных по наклону фазовых характеристик в текущей точке прогноза. На рис. 20 приведены графики фазы используемых для прогноза парциальных волн, повторяющий в укрупненном масштабе рис. 14.



Рис. 20. Прогнозные функции фаз парциальных волн

Дополнительно на рис. 20 прямыми линиями показаны фазы идеальных волн, а линиями, обозначенными k, изображены касательные к реальным графикам фазы в области точки x=1880. Из рис. 20 видно, что в расчетной текущей точке (x=1880) волна cf<sub>1</sub> испытывает ускорение, а волна af<sub>1</sub> – замедление по отношению к соответствующим идеальным волнам. Фаза волны af<sub>0</sub> при этом практически не отличается от идеальной. Вводя далее корректировки в фазовые коэффициенты в соответствии с реальным поведением фаз, можно получить второе уточнение формулы (1) и прогнозной кривой, обозначенной цифрой 4 (второй пунктирной линией), рис. 21.



Рис. 21. Скорректированный прогноз для точки х=1880

Вот здесь и настал момент применить вычисление среднеквадратического отклонения (СКО) для количественной оценки точности полученных прогнозов. Результаты приведены на рис. 22.



Рис. 22. СКО прогноза

По оси X отложены дни, начиная от точки x=1880, для которой обратным отсчетом вычислены амплитуды и фазы парциальных волн. По оси Y – СКО в градусах. Нумерация графиков СКО такая же, как и соответствующих прогнозных кривых, рис. 21. Как и следовало ожидать, наилучшие результаты дала прогнозная кривая 4, для которой использованы одновременно корректировки фазовых и амплитудных коэффициентов. Также видно, что в соответствии с описанной выше последовательностью совершенствования прогнозных функций, в пределах 50 дней графики их СКО располагаются последовательно один под другим. Особо следует отметить, что в пределах 10 дней СКО для всех прогнозных функций не превышает  $2,5^0$ , а по наиболее точному прогнозу этот уровень не превышен в пределах 25 дней. Много это или мало? Обратимся к одному из исследований точности метеопрогнозов [5], где «приведена выборка усредненных абсолютных (по модулю) значений ошибок для разных прогнозов «за 1 день», «за 2 дня», ..., «за 5 дней» (такая кодомистика) собъем с



Рис. 23. Усредненные ошибки прогнозов различных новостных агентств

В [5] анализу были подвергнуты прогнозные данные за трехмесячный период по различным точкам наблюдения по данным 9 источников. Из рис. 23 видно, что усредненные ошибки почти всех прогнозов к 5-дневному сроку превышают уровень 2,5<sup>°</sup> с устойчивой дальнейшей тенденцией роста. Обращаясь еще

раз к рис. 22, отметим, что СКО прогноза с коррекцией коэффициентов фазы и амплитуды не превышает 5.5<sup>0</sup>-6.0<sup>0</sup> в пределах более чем 300 дней.

Как уже отмечалось, применимость формулы (1) весьма ограничена. Рассмотрим еще раз основные условия, при которых (1) и ее модификации могут быть использованы:

- график фаз основных парциальных волн (рис. 14) демонстрирует стабильность (обычность) на всем рассматриваемом протяжении;

 анализ графика амплитуд (рис. 15) позволяет выстраивать трендлинии амплитуд и находить их функциональные аппроксимации;

- анализ графика фаз (рис. 20) позволяет также выстраивать трендлинии фаз и использовать их аппроксимации.

Условия, которые могут значительно исказить прогноз по формуле (1) следующие:

- возможность резонансов бегущих волн, формируемых высшими гармониками (N>2), следствием которых являются, например, температурные аномалии;

- возможности формирования областей ретроградности парциальных волн в области построения прогнозной функции.

Тем не менее, рассмотренный выше подход к построению прогнозной функции позволяет ее записать в обобщенном виде (2):

$$f(x) = A(x) + \sum_{n=1}^{N} A_n(x) \cos(\varphi_n(x))$$
(2),

где A(x) – прогнозная функция постоянной составляющей,  $A_n(x)$  - парциальная прогнозная функция амплитуды  $A_n$ ,  $\varphi_n(x)$  - парциальная прогнозная функция фазы  $\varphi_n$ . Формулу (2) можно уверенно назвать центральной прогнозной формулой, использующей концепцию бегущих волн. На этом можно было бы и завершить настоящее исследование. Однако, формула (2) дает направление дальнейших исследований в область построения прогнозных парциальных амплитудных и фазовых функций. Второе возможное улучшение (2) заключается в применимости подобного решения задач прогнозирования в многомерных пространствах, каждое измерение которого можно описывать прямым и встречным фронтом волн и поиск иного, более адекватного набора базисных функций, отражающих реальные временные процессы. Третье видимое улучшение (2) заключается в том, что прогноз парциальных амплитуд и фаз как функций времени за точкой расчета может улучшаться методом наименьших квадратов применительно к участку уже известной временной функции, примыкающей слева к точке расчета.

В заключение можно сформулировать полученные результаты.

1. Представлен новый подход к решению задач прогнозирования временных процессов.

2. Разобраны практические примеры использования метода обратного отсчета для задачи прогнозирования с использованием метода обратного отсчета [1]. Показано, что может быть сформирован долгосрочный (от 70 до 300 дней) прогноз температуры по исходным историческим данным, зафиксированным единственной метеостанцией.

3. Представлена обобщенная прогнозная формула (2) и даны направления ее использования и совершенствования.

## Список литературы

- 1. Сухарев И.Г. Время // Асадету. № 10 (25), 2017.
- Historical rates. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://fxtop.com/en/historical-exchange-rates.php/ (дата обращения: 12.10.2017).
- 3. Погода и климат. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.pogodaiklimat.ru/file.htm/ (дата обращения: 12.10.2017).
- Retrograde Motion. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://cseligman.com/text/sky/retrograde.htm/ (дата обращения: 12.10.2017).
- 5. Точность метеорологических прогнозов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://geektimes.ru/post/112958/ (дата обращения: 12.10.2017).