УДК 621.371

Ігор Миколайович Козубцов
Георгій Яремович Криховецький

СЕЗОННИЙ ПРОГНОЗ ТРЕНДУ ОПТИМАЛЬНИХ РОБОЧИХ ЧАСТОТ ДЕКАМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ МЕТОДАМИ ТЕХНІЧНОГО АНАЛІЗУ

Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок із важливими науковими завданнями

На етапі первинного планування радіозв'язку немає необхідності мати точні значення робочих частот (РЧ), а достатньо передбачити можливу область робочих частот (ОРЧ) та тенденцію її зміни в зв'язку із впливом 11-річного періоду сонячної активності. Достовірність прогнозування оптимальних робочих частот декаметрового діапазону є ключовою частиною для своєчасної адаптації системи радіозв'язку. Від неї залежить своєчасність переходу радіозасобу на інші робочі частоти до того, як відбулось погіршення зв'язку. Точність прогнозування і його своєчасність залежить від умов, в яких функціонує система зв'язку, і вибраного підходу до побудови прогнозуючої моделі. Формальний прогноз методами факторного аналізу дуже складний через безліч параметрів, що підлягають обліку, тому в масштабі реального часу така модель працювати не може. У цей час для вирішення даного завдання найзручнішими є методи технічного аналізу, що дозволяють скласти прогноз стану тренду на підставі минулих значень вимірюваного параметра.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за проблемою

До цих пір не було спроб перенести методи технічного аналізу на фізичні процеси, так як рахували, що в економічних процесах і фізичних явищах причинно-наслідкові зв'язки різні. Але спостереження стверджують, що це не зовсім так [1]. Так в економіці і в техніці багато процесів точно описуються рядом Фибоначі [1]. Геомагнітна обстановка однаково сильно впливає на умови поширення декаметрових хвиль і поведінку суб'єктів економічних процесів на фондових біржах. Таких прикладів можна навести багато. В ряді робіт зроблена перша спроба застосувати методи технічного аналізу, які набули широко вжитку в економічному аналізі та прогнозування на фондових ринках [1, 2, 3].

Технічний аналіз оснований на інтерпретації попередніх значень процесів як основи для прогнозування схеми тенденції [4]. Схема тенденції в багатьох випадках цікавить нас більше, ніж передбачення майбутніх значень. Так інформація про настання через п'ять хвилин різкого погіршення умов поширення хвиль важливіше інформації про рівень завад. Не так важливо знати, що буде погіршення зв'язку, важливо знати – коли саме.

Технічний аналіз надає можливість використання декількох сотень індикаторів розвороту тренду досліджуваних процесів, найпоширенішими з яких є осцилятор ковзного середнього й різні його модифікації. Побудова осциляторів ковзного середнього зводиться до побудови двох графіків ковзного середнього за різні періоди часу, а потім фіксується їхнє взаємне перетинання [1]. Однак застосування осциляторів поточних середніх не завжди дає ефективні результати.

Формулювання мети статті

Метою статті є висвітлення одного з перспективних і достовірних напрямків прогнозування оптимальних робочих частот декаметрового діапазону, застосовуючи для цього широко впроваджені в економіці методи технічного аналізу, які дозволяють описувати фізичні процеси зміни тренду.

Виклад основного матеріалу

Одним із важливих факторів за рахунок якого здійснюється будь-яке прогнозування – малий признак періодичності або циклічності. Виявлені періодичності пов'язують з іншими параметрами. На даний час найбільш відомим періодичним і циклічно змінним явищем є інтенсивність або періодичність сонячної активності, що становить приблизно 11,3 роки. Науковими дослідженнями встановлено пряму залежність сонячної активності від іонізації верхніх шарів іоносфери F_1, F_2, E за рахунок процесів, що протікають на Сонці. Ці процеси мають зазначену періодичність. З достатньо високою точністю можна прогнозувати лише область застосовних частот (ОЗЧ) на основі накопичених статистичних даних. Однак складно прогнозувати конкретну завантаженість радіочастот ОЗЧ радіозасобами. Такий прогноз

доречний для попередньої оцінки ОЗЧ на період часу достатнього для завчасного правильного вибору ОРЧ. Точний прогноз позбавить вибору передчасно невірних піддіапазонів з області значень ОЗЧ.

В період максимуму сонячної активності $W \rightarrow \infty$ множина значень $f_{ОРЧ}$ обмежених $f_{МЗЧ}$, і $f_{НЗЧ}$, приймає деяке значення множини f_m високочастотної (ВЧ) смуги ДКМ діапазону. Як наслідок, ймовірність встановлення дальнього іоносферного ДКМ радіозв'язку (ДІРЗ) $P_{зв} \rightarrow 0$ майже неможливе в низькочастотній (НЧ) смузі діапазону за рахунок великого загасання, флуктуації та загального рівня шумів $P_{Ш}$. Відбувається природний поступовий дрейф радіозасобів (РЗ) з НЧ в область ВЧ. Цим спричиняється ущільнення ВЧ $k_f \rightarrow max$ до повної насиченості, а інколи до перенасичення і створення взаємних завад при тому, як в НЧ щільність $k_f \rightarrow min$ поступово знижується. Тому, крім основного прогнозу ОРЧ, потрібен прогноз щільності завантаженості частот радіозасобами (РЗ).

Спостерігається цілком закономірна тенденція змін частот і щільності. При мінімуму сонячної активності $W \rightarrow 0$ множина значень $f_{ОРЧ}$ приймає деяке значення f_n множини низькочастотної смуги діапазону НЧ, де $f_n < f_m$. Зворотний процес відбувається із щільністю РЧС. Крім головного тренду сонячної активності T_{CA} спостерігаються періодичні мікротренди (флуктуації головного тренду). Це пов'язано з кутом нахилу земної осі відносно Сонця та річним рухом Землі по еліптичній орбіті навколо Сонця. Будемо розрізняти тренди сезонний (літний і зимовий). Для опису цього явища застосуємо апробовані на практиці методи технічного аналізу економіки [4]. Автором встановлено подібність між трендом в економіці та в декаметровому радіозв'язку [5]. Для забезпечення дальнього іоносферного радіозв'язку РЗ, потрібно використовувати робочі частоти з області ОРЧ, які обмежені з низу найменш застосовною НЗЧ, а зверху максимально застосовною МЗЧ частотою. Ці межі, як виявилось, постійно змінюються, що обумовлено часом дня, пори року. Вони залежать і від зміни інтенсивності сонячної активності. Наведемо подібні елементи (рис. 1).

Рис. 1. Графічне пояснення подібності тренду в економіці та радіозв'язку

Існують три типи трендів – рух ціни нагору, рух ціни вниз і бічний рух – ціна практично не змінюється. Тенденція діє доти, доки не подасть явних сигналів про те, що вона змінилася. Подібно до економіки, якщо ціна не може пробити нагору, називається лінією опору (***Resistance – res***) застосовано до радіозв'язку це є не що інше як МЗЧ, а якщо ціна не може пробити вниз, називається лінією підтримки (***Support – sup***) відповідно НЗЧ. Ці лінії малюються або по кінцях (***Bar***) або за цінами відкриття (***Open***), закриття (***Close***). Вони дають можливість покупки-продажу, попереджають події, дозволяють розпізнавати ситуацію на ринку.

Канал, що утвориться в результаті проведення рівнобіжних ліній (***sup, res***) (див. рис. 1), є оптимальним діапазоном торговельних змін відповідно діапазону оптимальних робочих частот (ОРЧ).

Напрямок каналу вниз або нагору визначає тенденцію ринку (***Trend***) – відповідно частотний зсув ОРЧ. Він залежить значення 11-річної сонячної активності, річного та добового руху землі. При висхідній тенденції тренд зростаючий, при спадній – спадаючий. В роботах [6,7] проведено класифікацію трендів та сформовані концептуальні аксіоми.

Сезонний тренд оптимально робочих частот пов'язаний зі станом іонізації іоносферних шарів D, E, F_1, F_2 та концентрацією електронів, що змінюються зі змінами зенітної кульмінації та відстані Сонця.

Вибір математичного апарату методу технічного аналізу для сезонного прогнозування тренду оптимальних робочих частот. За умов відсутності випадкової складової у вигляді миттєвих збурень можна виявити детерміновану інерційність. Така детермінована медіанна складової достатня для складання сезонного прогнозу тренду ОРЧ. В залежності від періоду усереднення (тривалості сезону) можна в нестаціонарному показнику виділити відповідний стаціонарний показник прогнозу тренду.

Під *стаціонарним* будемо розуміти такий показник, індивідуальне значення якого, змінюючись з часом, не змінює середнього протягом тривалого проміжку часу. Під *нестаціонарним* показником будемо розуміти такий показник індивідуального значення, коли середнє не буде постійним, а змінюється у часі. Зміну середнього прийнято називати трендом. Тренди розрізняють по характеру та типу [8]. Число

одиниць часу, на який складають прогноз, називається горизонтом прогнозування. Шляхом зменшення часу усереднення можна перейти від нестаціонарного до стаціонарного процесу і навпаки.

Таким чином, детермінований добовий хід МЗЧ, ОРЧ і НЗЧ протягом місяця можна розглядати як стаціонарний процес відносно річного руху. В той же час річний рух ОРЧ є стаціонарним процесом відносно 11-річного періоду зміни сонячної активності.

Проаналізуємо похибку складання прогнозу методами: *середнього ковзного* та *експоненціального згладжування* з метою подальшого вибору математичного апарата.

Припущення

Приймемо за еталон прогноз ІЗМІРАН на місяць березень 1990 року [9].

Для моделювання складання і порівняння точності прогнозів застосовано стандартний програмний продукт *Microsoft Excel* 2002.

Прогноз методом ***середнього ковзного*** краще описує значення часового ряду з недалекого минулого. Модель прогнозу описується наступною формулою:

$$Y(t+1) = (1/(T+1))*[Y(t)+Y(t-1)+...+Y(t-T)],$$

де Y(t+1) – прогноз на наступний період часу;

Y(t) – реальне значення в момент часу t;

T – відлік за часом у глибину;

Y(t-1) – минулий прогноз на момент часу t.

На рис. 2 зображено прогноз, побудований методом *середнього ковзного*, який полягає у тому, що модель „бачить" і описує тільки найближче майбутнє та ґрунтується тільки на цих даних. Крім того, виникає інерційність, яка тим більша, чим більший міжпрогнозний інтервал.

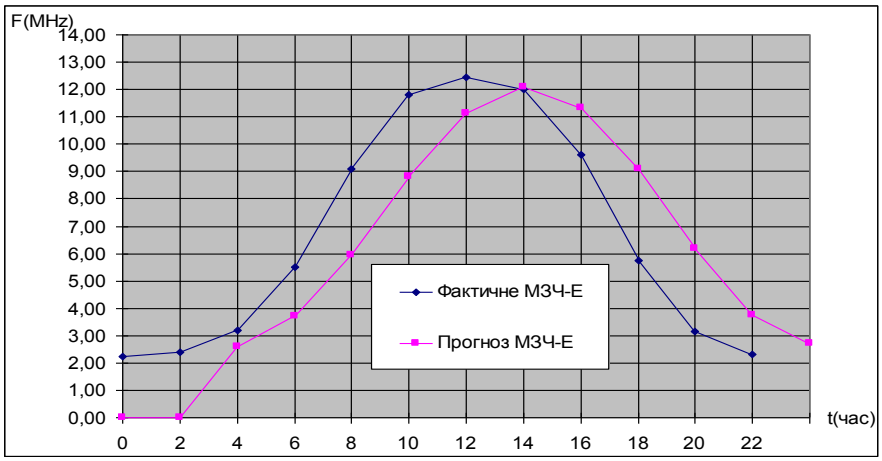

Рис. 2. Графік середнього ковзного прогнозу добового руху тренду МЗЧ шару

Прогноз методом ***експоненціального згладжування*** постійно адаптується до даних за рахунок нових значень. Дана модель, описується формулою:

$$Y(t+1) = a*Y(t)+(1 – a)*\hat{}Y(t),$$

де Y(t+1) – прогноз на наступний період часу;

Y(t) – реальне значення в момент часу t;

^Y(t) – минулий прогноз на момент часу t;

a – постійна згладжування ($0 \leq a \leq 1$).

На рис. 3 зображено прогноз побудований методом експоненціального згладжування.

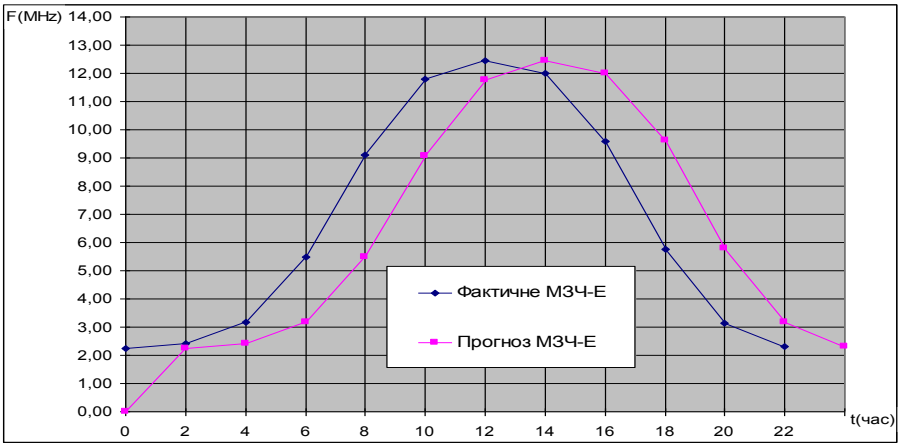

Рис. 3. Графік прогнозу добового тренду МЗЧ шару *E* побудованого методом експоненціального згладжування

При складанні прогнозу необхідно приділити значну увагу значенню коефіцієнта згладжування – a, від якого залежить прогноз, а саме від більш старих вихідних даних. Залежність впливу даних на прогноз при різних коефіцієнтах a зображено на графіку рис. 4. Вплив даних на прогноз експоненціально спадає за „віком". При $a > 1$ експонентна модель прямує до найпростішої „наївної" моделі. При $a > 0$ прогнозована величина стає рівною попередньому прогнозу.

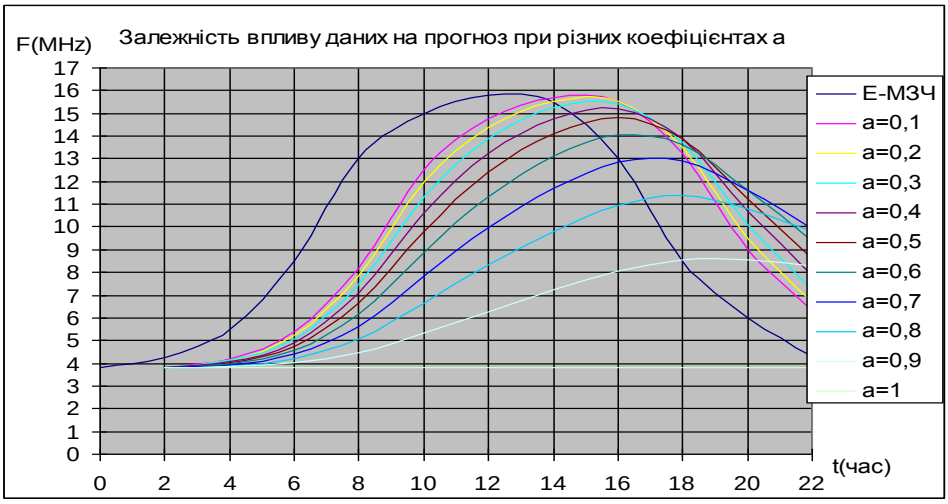

Рис. 4. Залежність впливу даних на прогноз при різних коефіцієнтах а

Перед початком складання прогнозу необхідно на деякому тестовому наборі скласти прогноз для значень a = [0,01, 0,02, ..., 0,98, 0,99] і дослідити, при якому коефіцієнті а точність прогнозу більша, і те значення використовувати в подальшому. Крім того, експонентне згладжування дозволяє виділяти трендові складові, так як середньо ковзний прогноз цього зробити не в змозі.

З аналізу графіків середнього ковзного та експоненціального згладжування (рис. 5) видно, що точність відтворення попередніх значень найбільша в експоненціального згладжування. Одним загальним недоліком обох методів є запізнення, тобто інерційність, що залежить від інтервалу, на який здійснюється (t+1) складання прогнозу. Відповідно похибка зменшується із зменшенням часу (t+1). В одержанні похибки апроксимації в деякій мірі сприяв той факт, що використані значення [9] розраховані з кроком в 2 години. Як виявляється, такий крок неприпустимий для апроксимації значень, отриманих наближеними методами.

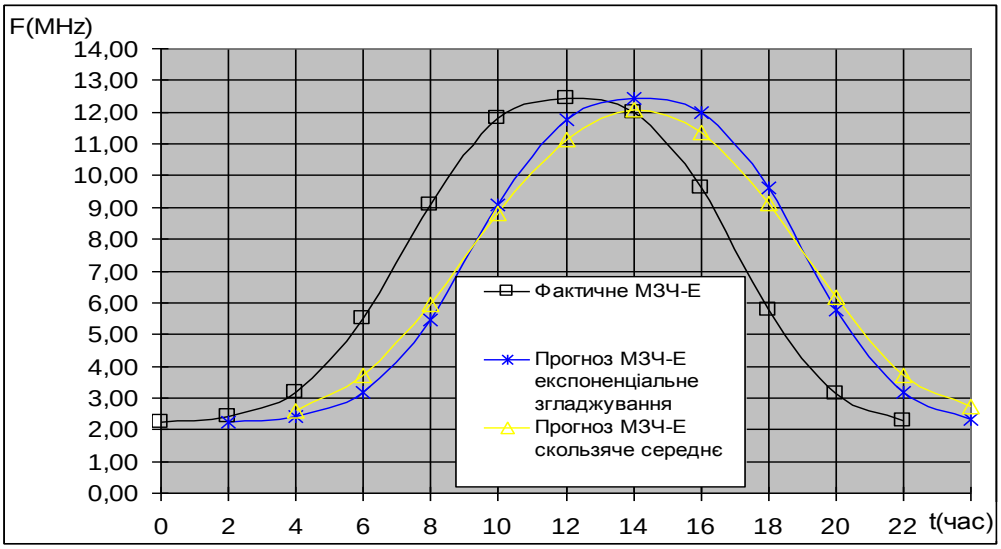

Рис. 5. Графік порівняння точності відтворення добового руху тренду МЗЧ прогнозами середньо ковзного та експоненціально згладжування

Результат аналітичного моделювання підтверджує можливість застосування експоненціального згладжування для складання прогнозу в умовах воєнного часу при відсутності більшої частини вихідних даних, потрібних для складання прогнозу більш точним методом. Прикладом використання є в частотно-диспетчерських радіослужбах різного призначення на етапах радіопланування РЗ на сезон. Відслідковувати і прогнозувати тенденції областей застосовних частот (діапазонів) як прямої залежності зміни щільності частотного ресурсу. Застосовано до радіомовних станцій короткохвильового діапазону методика на даний час в широкому змісті актуальною, оскільки на даний час відсутня в частотних менеджерів методики точного довготривалого прогнозування.

Прогнозування, а скоріше вибір частот, як правило здійснюється інтуїтивним способом.

Висновки

Таким чином, можна сформулювати наступні висновки:

експоненціальне згладжування має ряд переваг перед середнім ковзним;

для побудови прогнозу за експоненціальним загладжуванням необхідно задати лише початкову оцінку прогнозу; подальше прогнозування

можливе відразу за надходженню свіжих даних, що позбавляє необхідності заново будувати процедуру обчислення прогнозу, як це було за методом середнього ковзного;

в експоненціальному згладжуванні середнє значення коефіцієнтів убуває з часом. Тому (на відміну від середнього ковзного) немає точки, на якій коефіцієнти обриваються, тобто обнуляються.

Отриманий метод та практична його цінність і перевага, полягає у використанні пасивних методів прогнозування. Дана методика передбачає таким структурам як Укрчастотнагляду та частотно-диспетчерським службам можливість покращити ефективність здійснення довготривале прогнозування ОЗЧ на сезон та рік вперед.

Література

1. Головин О.В., Шварц В., Репинская Т.В. Эффективность прогнозирования помехоустойчивости приема в КВ каналах методами технического анализа. – «Электросвязь» – 2001. – №12. – С. 15– 16. **2. Головин О.В**., Шварц В., Репинская Т.В. Прогнозирование разворота тренда суточного хода напряженности поля с помощью осцилляторов скользящей дисперсии. – Радиотехника. – 2002. – № 6. **3. Репинская Т.В.** Прогнозирование разворота тренда суточного хода напряженности поля. – Радиотехника. – F1 2004. – №4. – С. 35–36. **4. Мэрии Джон Дж.** Технический анализ фьюрческих рынков. Теория и практика. – М.: Сокол, 1996. – 592 с. **5. Козубцов И.Н.,** Миночкин А.И., Кокотов О.В. Аналитическое обоснование возможного использования методов технического анализа для прогнозирования оптимальных рабочих частот коротковолновой радиосвязи // Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии (ИСТ-2008)» (18 апреля 2008 г). – Н.Новгород. Нижегородський гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2008 – С. 92 - 94. **6. Козубцов И.Н.,** Миночкин А.И., Кокотов О.В. Аналитическое обоснование возможного использования методов технического анализа для прогнозирования уровня шума оптимальных рабочих частот коротковолновой радиосвязи // XV Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии (ИСТ-2009)» (17 апреля 2009 г). – Нижний Новгород. Нижегородський государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2009. – С. 94 – 96. – ISBN 978-5-93272-648-8. **7. Козубцов И.Н.** Классификация типов трендов максимально применимой частоты декаметрового диапазона методами технического анализа // XVI Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии (ИСТ-2010)» (17 апреля 2010 г). – Нижний Новгород. Нижегородський государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2010. – С. 103 – 104. – ISBN 978-5-93272-648-8. **8. Козубцов И.Н.** Аксиомы концепции прогнозирования состояния ионосферы методами технического анализа. Материалы 16 международной конференции Математика. Компьютер. Образование. (МКО – 2009) г. Пущино, 19 – 24 января 2009 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // http://www.mce.su/archive/doc35863/rus.pdf. **9. Репинская Т.В.** Прогнозирование разворота тренда суточного хода напряженности поля // Радиотехника, №4, 2004. – С. 35 – 36. **10. Месячный прогноз** максимальных применимых частот (МПЧ). Март 1990 / Отв. ред. П.М. Свидский. – М.: Гидрометеоиздат, 1989. – 48 с.

В статье предложено составлять сезонное прогнозирование оптимальных рабочих частот декаметрового диапазона методами технического анализа. Использование методов технического анализа упрощает прогнозирование тренда оптимальных рабочих частот. Применение данного метода позволит избирать безошибочно полосу области применимых частот для радиосредств фиксированной служб.

Ключевые слова: прогноз оптимальных рабочих частот, декаметровый диапазон, методы технического анализа, экспоненциальное сглаживание, среднее скользящее.

In the article it is suggested to make the season prognosis of optimum workings frequencies of decameter range the methods of technical analysis. The use of methods of technical analysis is simplified prognostication of trend of optimum workings frequencies. Application of this method will allow to elect faultlessly the bar of area of applicable frequencies for radiofacilities of fixed services.

Key words: forecast the optimum operating frequency, the decameter range, methods of technical analysis, exponential smoothing, moving average.