

тов, выравниванию значений микротвердости по сечению спекаемого материала.

Перераспределение легирующих элементов при жидкофазном спекании порошковой нержавеющей стали X18H15 можно наблюдать и с помощью металлографии (рис. 4, а—д). Исследования показали, что после образования расплава происходит растворение частиц лигатуры в основном металле нержавеющей стали (рис. 4, а, б). Дальнейшее увеличение длительности изотермической выдержки приводит к дефрагментации микроструктуры (рис. 4, в), что связано с распространением жидкой фазы по дефектам кристаллической структуры. Развитие процесса «растворение — осаждение» приводит к формированию крупнозернистой поликристаллической структуры (рис. 4, г, д).

Таким образом, перераспределение легирующих элементов при жидкофазном спекании порошковой нержавеющей стали X18H15 с добавлением 2.5—10 % Ni-Cr Si-B лигатуры способствует повышению плотности материала, формирует структуру, которая обеспечивает не только повышение износостойкости, но и жаростойкости, жаропрочности. Одновременно предел прочности повышен до $\sigma_b \geq 400$ МПа.

Выполненные исследования дают возможность

контролировать технологический процесс получения материалов на основе порошка нержавеющей стали X18H15 и, следовательно, их комплекс физико-механических свойств.

1. Закастельская О. А., Тихомирова О. И. Особенности формирования фаз при контакте жидкых сплавов галлия и индия с медью: Адгезия расплавов и пайка материалов. — Киев: Наукова думка, 1984.—№ 12.—С. 46—48.
2. Савицкий А. П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами. — Новосибирск: Наука, 1991.—184 с.
3. Пинес Б. Я., Гегузин Я. Е. Самодиффузия и гетеродиффузия в неоднородных пористых телах // Журн. техн. физики.—1953.—23, № 9.—С. 1559—1572.

REDISTRIBUTION OF ALLOYING ELEMENTS IN LIQUID-PHASE SINTERING OF POWDER CORROSION-PROOF STEEL

P. O. Myronenko, L. L. Shcheglova

The redistribution of alloying elements is investigated in liquid-phase sintering of powder corrosion-proof steel. We established laws of the change of the structure of the materials based on the powder corrosion-proof steel concerning the redistribution. We studied the influence of these laws on physical and mechanical properties of the materials.

УДК 521.6:629.783(477)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПО ДАННЫМ ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В РАСЧЕТАХ ПАРАМЕТРОВ СТАБИЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ

© А. В. Голубек, И. А. Емельянова, П. Г. Хорольский

Державне конструкторське бюро «Південне»

Ставиться задача та досліджуються можливості покращення точності визначення балістичного коєфіцієнта для космічних об'єктів, що рухаються у верхніх шарах атмосфери. Дослідження провадились на прикладі даних NORAD для космічного апарату «Січ-1» і геліофізичних параметрів, вільно поширюваних в інтернеті.

Одним из определяющих параметров, влияющих на точность прогноза орбит космических объектов (КО), движущихся в верхних слоях атмосферы, является баллистический коэффициент (B).

Поскольку с уменьшением высоты полета плотность атмосферы увеличивается, то увеличивается влияние B на траекторию полета КО и одновремен-

но повышается влияние его погрешности на точность определения параметров движения.

Кроме того, необходимо также отметить, что при уточнении начальных условий движения КО по результатам радиоконтроля орбиты B может выступать в качестве согласующего коэффициента между значениями плотности динамической модели

верхней атмосферы и измерениями параметров движения КО [6].

Точность прогноза параметров орбиты КО определяет точность прогноза времени существования и районов падения объектов, частоту проведения сеансов радиоконтроля орбиты, особенно в периоды высокой солнечной активности, и т. д.

Для повышения точности определения B его включают в состав уточняемых начальных условий движения или уточняют дополнительно как согласующий баллистический коэффициент [6]. Таким образом, этот коэффициент уточняется на основании предыстории изменения параметров орбиты КО, и его возможное изменение учитывается в среднем на период полета до следующего сеанса радиоконтроля орбиты.

Применение методов идентификации аэродинамических характеристик для определения B практически исключено, так как требует специальной организации эксперимента и большого объема данных. Свыше 95 % КО являются космическим мусором, и получить необходимый объем информации просто невозможно. Кроме того, изменение солнечной активности достаточно непредсказуемо, и поэтому изменение плотности атмосферы не поддается точному прогнозу.

Таким образом, для повышения точности прогноза необходимо уточнять модель плотности атмосферы и B .

Поскольку методология формирования модели атмосферы определяет использование согласующих B , это по сути означает включение в значения этого параметра слагаемого, уточняющего в среднем плотность атмосферы. Следовательно, в период между уточнениями моделей атмосферы, которое происходит не чаще одного раза в 7–10 лет, повышение точности прогноза орбиты КО за счет влияния атмосферы возможно только путем повышения точности прогноза B . Таким образом, актуальна задача исследования закономерностей изменения B , факторов, влияющих на точность его определения, и построения модели его прогноза.

Решению перечисленных вопросов посвящена настоящая работа.

Задачу рассмотрим в следующей постановке: на основании периодически поступающих данных о параметрах P орбиты КО, сформировать математическую модель прогноза изменения B для целей прогноза траектории полета.

КО движется в атмосфере, в общем случае вращаясь вокруг центра масс случайным образом. Поэтому B также изменяется по времени по некоторому случайному закону.

Таким образом, на основании всего сказанного

выше значение согласующего B можно представить как сумму трех составляющих:

$$B = B_{\Phi} + B_{\text{B}} + B_{\text{A}}, \quad (1)$$

где $B_{\Phi} = C_x S / (2m)$ определяется коэффициентом C_x , массой m и площадью S миделевого сечения КО; B_{B} — поправка к B_{Φ} , учитывающая вращение КО; B_{A} — слагаемое, обеспечивающее согласование B с реализованнойся плотностью атмосферы. Случайные колебания величины B вызваны погрешностями его определения, а также колебаниями плотности атмосферы B_{A} .

Если через τ обозначить моменты уточнений P , то на основании временного ряда $P(\tau)$ можно построить временной ряд $B(\tau)$. Как уже отмечалось, B может быть включен в состав уточняемых параметров P . Согласующее значение B может быть получено по невязкам параметров орбиты, уточненным и прогнозируемым на момент уточнения. На практике таким параметром орбиты является период T обращения КО. Тогда B_{A} определяется следующим образом:

$$B_{\text{A}} = \left(\frac{\partial T}{\partial B} \right)^{-1} \Delta T, \quad (2)$$

где $\partial T / (\partial B)$ — частная производная T по B ; ΔT — изменение периода обращения за период между уточнениями P . В этом случае B_{A} является поправкой к величине B , полученной или используемой на предыдущий момент уточнения P .

Имеющийся в нашем распоряжении объем исходных данных не позволяет определить габаритно-массовые характеристики КО, а также параметры вращения.

Учитывая, что изменение плотности атмосферы достаточно инерционно (так, согласно [3] запаздывание изменения плотности атмосферы по отношению к времени солнечной активности составляет 1.7 сут, а для геомагнитной — 0.6 сут) оценить изменение B за счет вращения можно было бы при периоде уточнения P , намного меньшем периода значимого изменения солнечной и геомагнитной активности.

Учитывая объем данных и высокую степень неопределенности в знании закономерностей изменения плотности атмосферы, а также то обстоятельство, что знание B необходимо для баллистических расчетов и может иметь интегральный для требуемого интервала прогноза характер, целесообразно искать закономерности и модели изменения B статистического характера: регрессионные, скользящего среднего или комбинированные типа АРСС (авторегрессионные скользящего среднего) [1, 2].

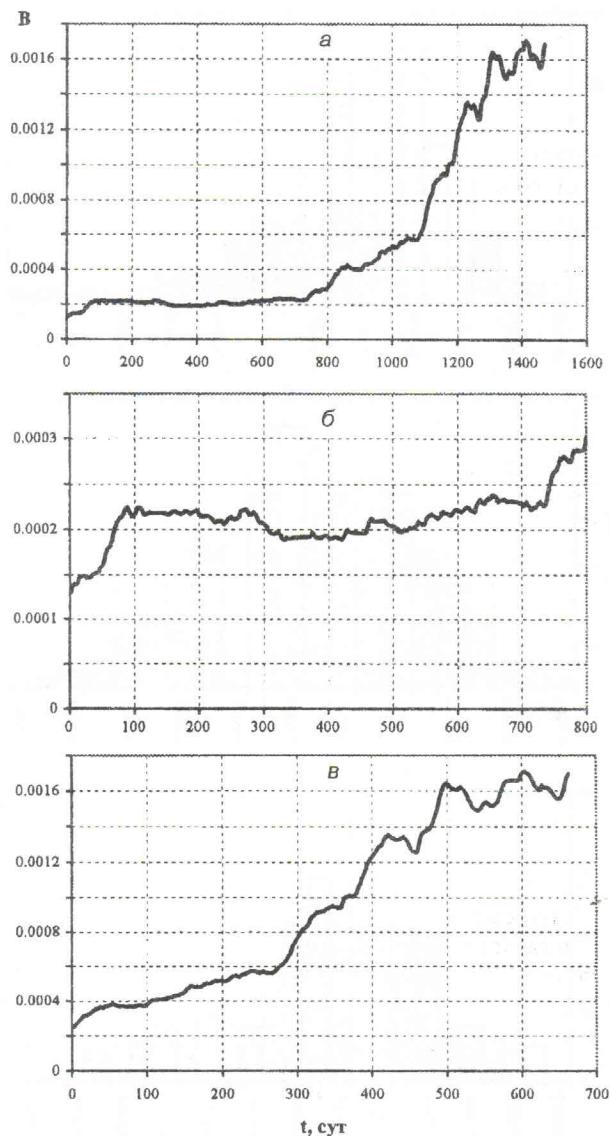
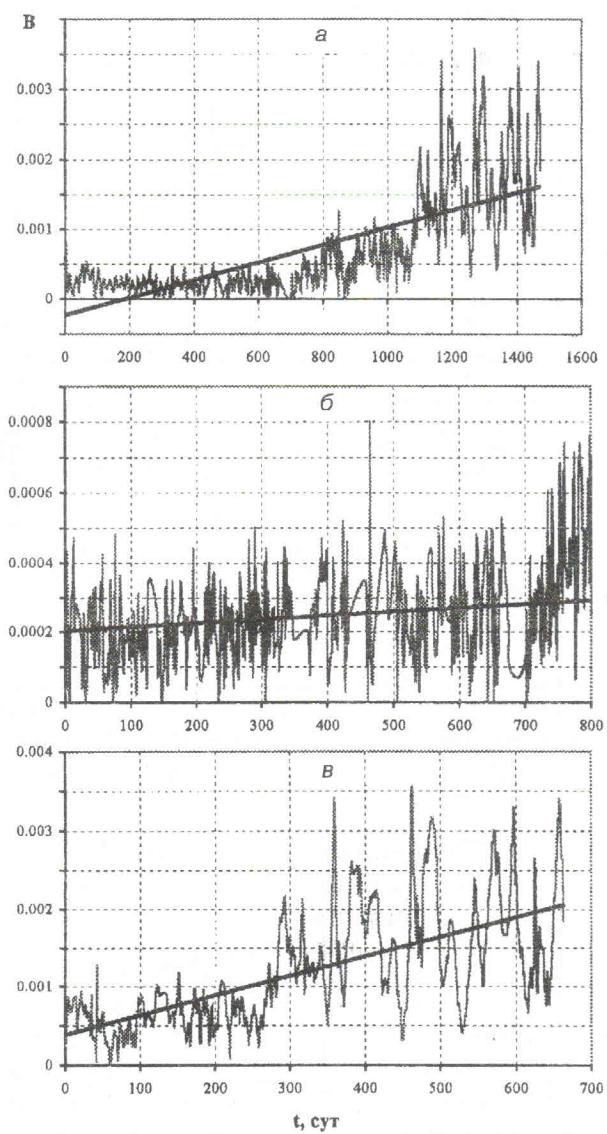


Рис. 1. Зависимость баллистического коэффициента и его линейного тренда от времени: *а* — для суммарного интервала солнечной активности, *б* — для интервала низкой солнечной активности, *в* — для интервала высокой солнечной активности

Рис. 2. Зависимость экспоненциального сглаживания ряда $B(t)$ от времени (*а*, *б*, *в* — см. рис. 1)

При формировании модели необходимо учесть ее назначение и область применения. Так, для расчетов времени существования КО целесообразно использовать регрессионные модели для больших интервалов прогноза и для кратковременного прогноза — модели АРСС, рассматриваемые как разностный вариант передаточной функции, что необходимо для завершающих витков пребывания на орбите перед спуском в атмосферу.

Для построения таких моделей необходимо наличие временных рядов $P(\tau)$ и $B(\tau)$.

В настоящее время в интернете на информационных серверах NASA и ряда учебных заведений, и даже частных лиц предоставляются каталоги параметров орбит КО в форме tile-каталогов, в состав которых входят и значения B , которые могут быть уточнены в результате согласования (2).

Дальнейшее изложение имеет смысл проводить

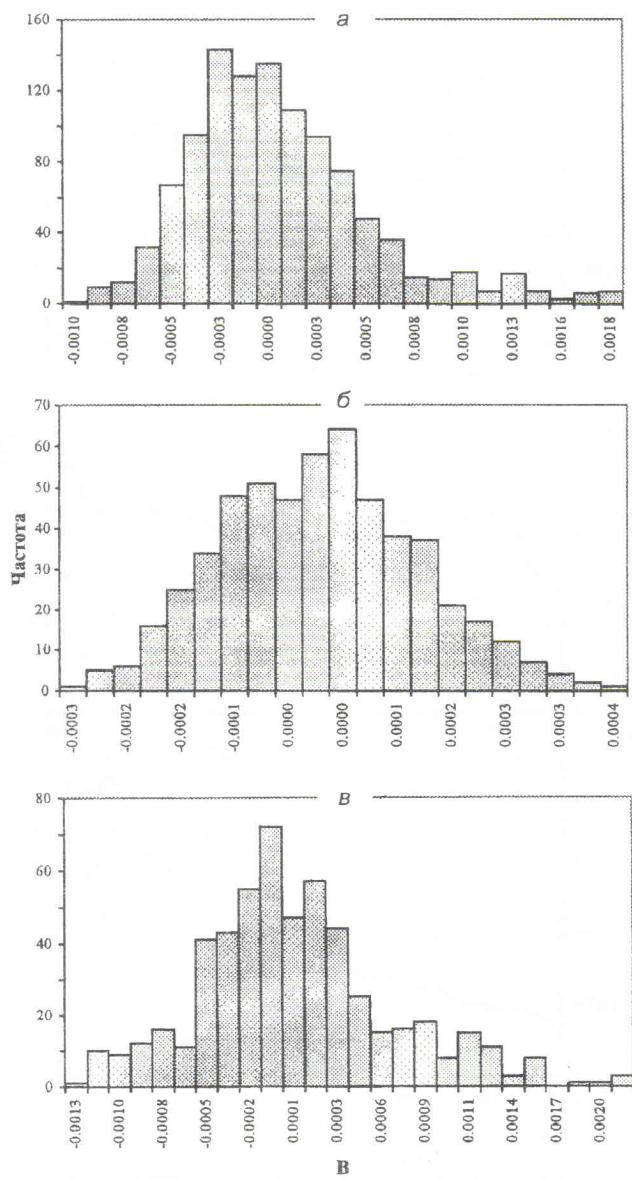
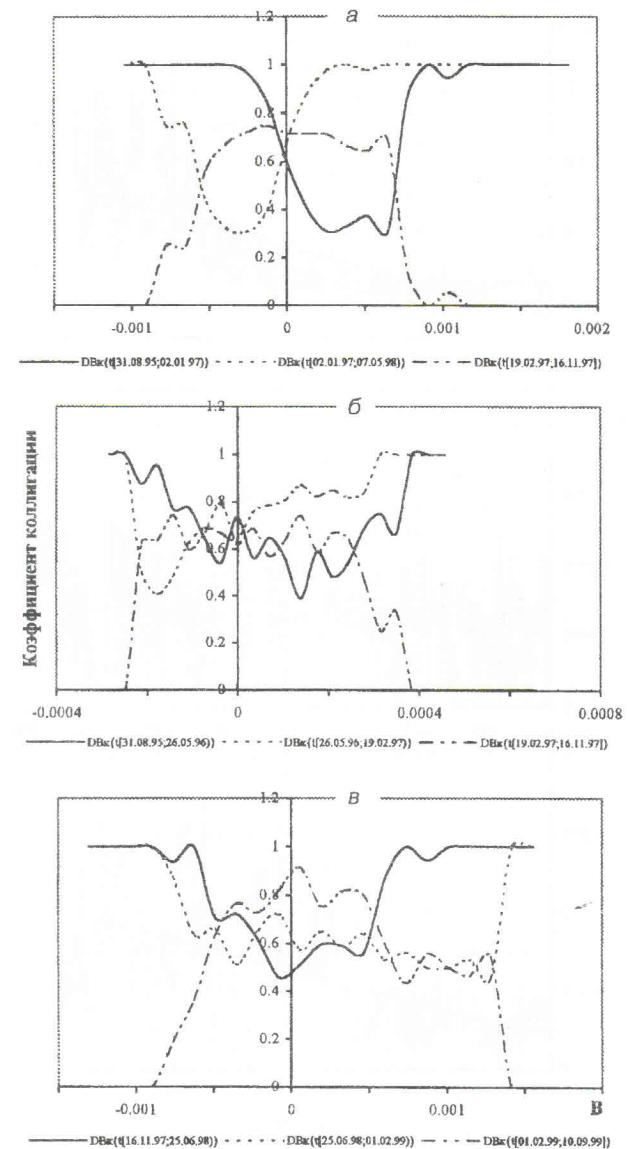


Рис. 3. Гистограмма отклонений ряда $B(t)$ от его линейного тренда (a, b, c — см. рис. 1)

Рис. 4. Коэффициент коллигации отклонений ряда $B(t)$ от его линейного тренда (a, b, c — см. рис. 1)

на примере данных для конкретных КО.

Исследования проводились на примере космического аппарата «Січ-1» (международный номер 1995-046A). Выбор вызван тем, что это отечественный космический аппарат, баллистический коэффициент которого известен. Он гравитационно стабилизирован и находится на круговой орбите высотой $h_{kp} \approx 650$ км. Период уточнения Р в рассматриваемых каталогах составляет 0.5 сут и более.



Поэтому колебания КА не могут заметно повлиять на величину B или вообще (при рассмотренной частоте обновления каталогов) быть определены по данным ряда $B(\tau)$.

Изменения $B(\tau)$ для КА «Січ-1» могут быть вызваны в основном изменением плотности атмосферы и ошибкой за счет погрешностей измерения Р и определения согласующих коэффициентов.

Исследования рядов были направлены на поиск

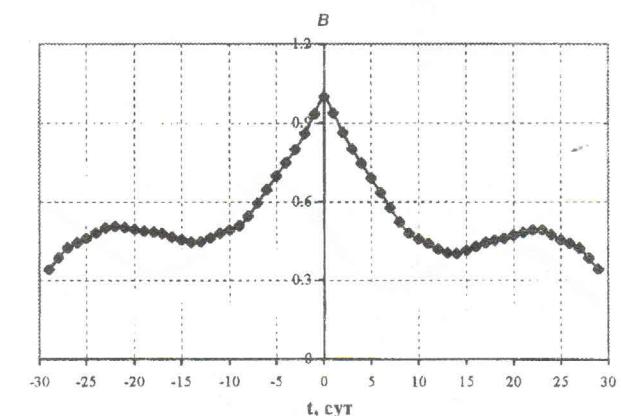
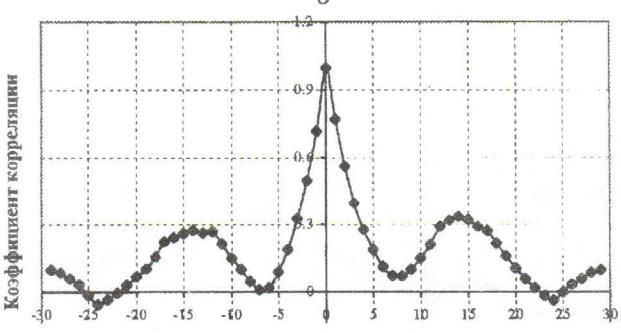
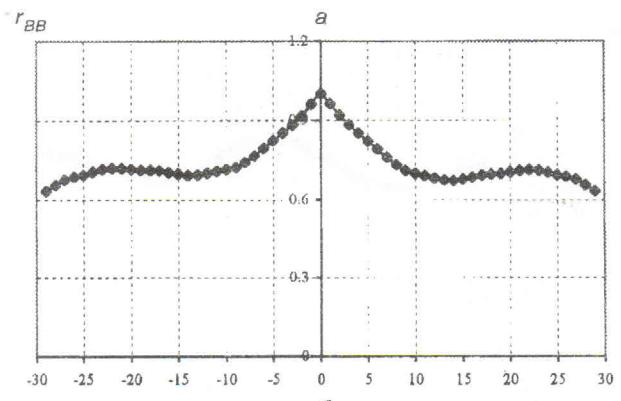
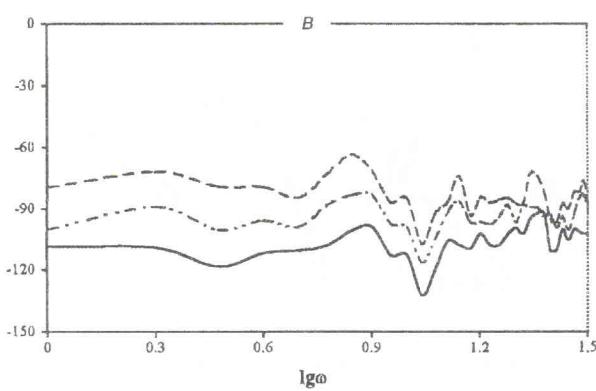
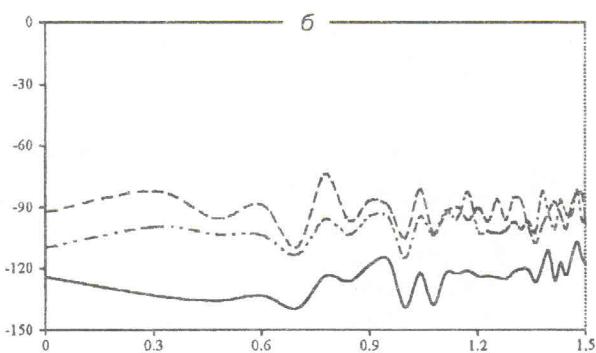
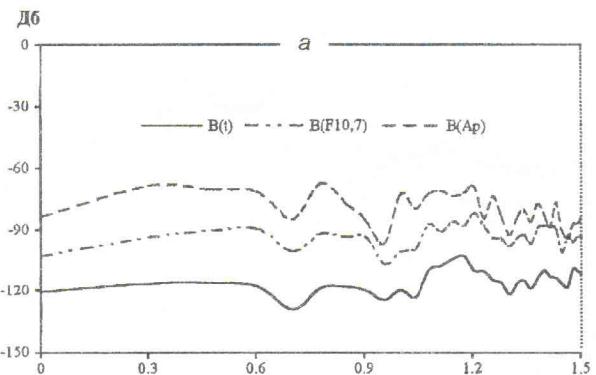


Рис. 5. ЛАЧХ рядов $B(t)$, $B(F_{10.7})$ и $B(A_p)$ (а, б, в — см. рис. 1)

Рис. 6. График автокорреляционной функции $B(t)$ (а, б, в — см. рис. 1)

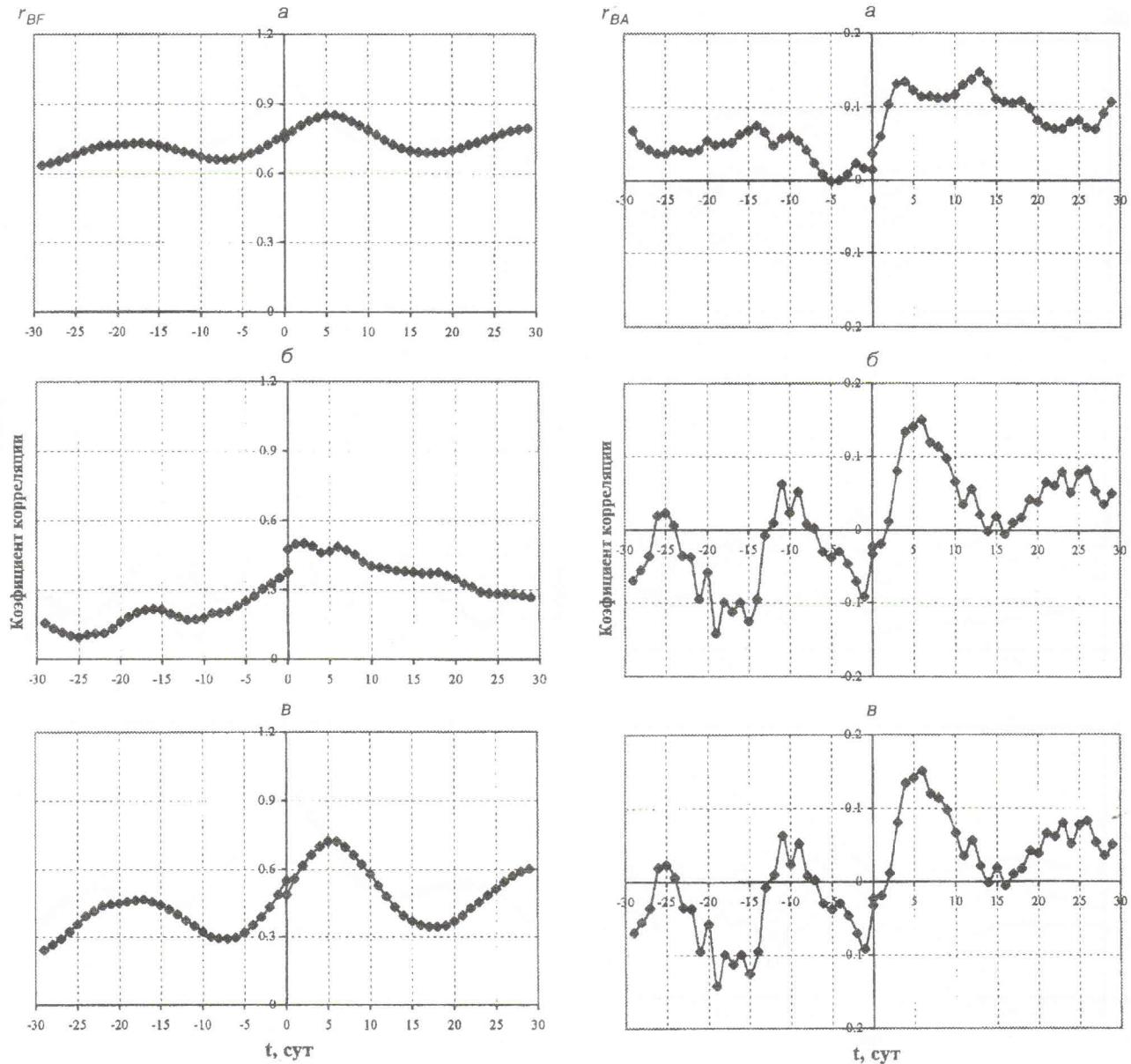
определяющих факторов, в качестве которых рассматривались индексы солнечной активности $F_{10.7}$ и геомагнитной напряженности A_p , полученные по данным интернета. Кроме того, определялись порядок и структура линейного прогнозирующего фильтра для кратковременного прогноза B .

В одиннадцатилетнем цикле солнечной активности можно выделить два периода — низкой и высокой солнечной активности. Зависимости $B(\tau)$, полученные для КА «Січ-1», исследовались для

КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ. ДОДАТОК.—2003.—9, № 1

этих двух периодов по отдельности и совместно, с целью получения общей модели прогноза. На рис. 1 показаны графики $B(\tau)$ и линейный временной тренд для трех временных интервалов (высокой, низкой активности и их объединяющий). Хорошо виден случайный колебательный характер изменения B . На рис. 2 показаны результаты экспоненциального сглаживания рядов, на которых видна близость формы кривой к кусочно-линейной.

Критерием выбора регрессионной модели был

Рис. 7. Взаимная корреляционная функция B и $F_{10.7}$ (а, б, в — см. рис. 1)Рис. 8. Взаимная корреляционная функция B и A_p (а, б, в — см. рис. 1)

принят минимум среднего значения среднеквадратического отклонения (СКО) отклонения $B(\tau)$ от моделируемого.

На рис. 3 показаны гистограммы распределения отклонений $B(\tau)$ от линейного тренда, из которых следует близость закона распределения к нормальному. С целью проверки наличия регулярности в изменении $B(\tau)$ были построены зависимости коэффициентов коллигации $DB(t)$ отклонений B от этих

значений (см. рис. 4), где в скобках при t указаны временные интервалы обработки данных.

Близость коэффициентов коллигации к единице и отсутствие трех пересечений с осью абсцисс этих зависимостей позволяет сделать вывод об отсутствии как чисто функциональных, так и чисто случайных закономерностей.

Аналогичный линейный тренд выделяется и в зависимостях $B(F_{10.7})$ и $B(A_p)$ для рассматриваемых

Таблица 1. Статистические характеристики модели линейного тренда

Параметр	Период низкой солнечной активности	Период высокой солнечной активности	Весь период
Математическое ожидание	$2.49 \cdot 10^{-4}$	$1.24 \cdot 10^{-3}$	$7.46 \cdot 10^{-4}$
СКО	$2.74 \cdot 10^{-5}$	$4.81 \cdot 10^{-4}$	$1.88 \cdot 10^{-5}$

Таблица 2. Статистические характеристики рядов $B(\tau)$ для высокой и низкой солнечной активности

Параметр	Высокая солнечная активность		Низкая солнечная активность	
	МО, 10^{-4}	СКО, 10^{-4}	МО, 10^{-4}	СКО, 10^{-4}
Исходный ряд $B(\tau)$	12.4	7.68	2.49	1.41
Прогноз ряда $B(\tau)$ для ширины окна, равной всему периоду наблюдений	12.610	7.02	2.5	1.02
Прогноз ряда $B(\tau)$ для ширины окна, равной 100 значениям ряда	13.910	7.02	2.4	1.06
Прогноз ряда $B(\tau)$ для ширины окна, равной 50 значениям ряда	13.110	7.27	2.42	1.09
Прогноз ряда $B(\tau)$ для ширины окна, равной 10 значениям ряда	12.510	7.68	2.47	1.28
Прогноз ряда $B(\tau)$ для ширины окна, равной 5 значениям ряда	12.510	7.67	2.47	1.38

периодов времени.

Использование линейного тренда прогноза позволяет повысить его точность на достаточно длительных интервалах времени. Так, для рассматриваемых трех периодов времени статистические характеристики модели линейного тренда рядов $B(\tau)$ представлены в таблице.

Кратковременный прогноз предлагается проводить на основе разностного (дискретного) линейного прогнозирующего фильтра. Для определения порядка и структуры фильтра были построены логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) [4] для зависимостей $B(\tau)$, $B(F_{10.7})$ и $B(A_p)$ (см. рис. 5) по которым достаточно грубо можно определить наличие астатических звеньев примерно 6-го порядка.

В соответствии с методологией идентификации [5] по типовым корреляционным функциям были построены автокорреляционная функция (рис. 6) и взаимные корреляционные функции $B(F_{10.7})$ и $B(A_p)$ (рис. 7, 8).

Ввиду слабой корреляции A_p с B этот фактор исключен из рассмотрения. Автокорреляционная функция B согласно [5] может быть приблизительно описана следующим образом:

$$r_{BB}(t) = A \exp(-\alpha |t|), \quad (3)$$

где A , α — коэффициенты; t — интервал времени между данными временного ряда. Идентификация по взаимной корреляционной функции определяет следующую структуру прогнозирующего фильтра:

$$\sum_{i=0}^3 b_i B^{(i)} = \sum_{j=0}^2 f_j F_{10.7}^{(j)}, \quad (4)$$

где $B^{(i)}$ и $F_{10.7}^{(j)}$ — i -я и j -я производные соответственно B и $F_{10.7}$ по времени, b_i и f_j — коэффициенты. Далее исследовался разностный аналог (4) — линейный прогнозирующий фильтр вида

$$B(i+1) = \sum_{j=0}^n \beta_j B(i-j) + \sum_{k=0}^m f_k F_{10.7}(i-k), \\ n \leq 6 \dots 8, m \leq 3. \quad (5)$$

Таким образом, определялось будущее значение B , отстоящее от последнего уточнения согласующего B на интервал времени, равный дискрету времени ряда.

Коэффициенты β_j и f_k определялись методом наименьших квадратов по всему ряду $B(\tau)$.

Дополнительно исследовалась ширина окна данных, обеспечивающая необходимую точность. Результаты сравнения статистических характеристик исходного ряда $B(\tau)$ и рядов $B(\tau)$, определенных с помощью фильтра для различной ширины окна и периодов солнечной активности, приведены в табл. 2.

Итак, предложенный метод уточнения B позволяет уточнить B на 20—30 % на интервале низкой солнечной активности и на 8—9 % на интервале высокой солнечной активности для кратковременных интервалов прогноза, что позволяет сделать вывод о существовании возможности увеличения точности определения B .

На основании вышесказанного величина B определяется предыдущим значением $F_{10.7}$ и несколькими предыдущими значениями B . Наличие первого фактора в прогнозирующей модели отражает включение в согласующий B слагаемого, уточняющего

плотность атмосферы. Наличие же предыдущих значений B говорит либо о наличии некоторого переходного процесса в определении B , либо о необходимости сглаживания его значений с некоторыми весами.

- Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. — М.: Мир, 1974.—Вып. 1.—406 с.
- Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. — М.: Мир, 1974.—Вып. 2.—198 с.
- ГОСТ 25645. 115-84. Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов искусственных спутников Земли. — М.: Изд-во стандартов, 1985.—39 с.
- Гроп Д. Методы идентификации систем. — М.: Мир, 1979.—302 с.
- Типовые линейные модели объектов управления / С. А. Анисимов, И. С. Зайцева, Н. С. Райбман и др. / Под ред. Н.

- С. Райбмана. — М.: Энергоатомиздат, 1983.—264 с.
- Эльясберг П. Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. — М.: Наука, 1965.—540 с.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF BALLISTIC FACTOR CHAGE PREDICTING ON THE BASIS OF OUTER-TRAJECTORY MEASUREMENTS WITH THE USE OF STABLE ATMOSPHERE PARAMETERS FOR CALCULATIONS

A. V. Golubek, I. A. Yemel'yanova, P. G. Khorol'skii

The paper is devoted to the statement of the problem and investigation of the possibility of ballistic factor definition accuracy improvement for space objects moving in top layers of atmosphere. The investigation was carried out with the use of the NORAD data for the «Sich-1» spacecraft as well as solar and geomagnetic indexes freely distributed via Internet.

ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТОЖЕСТКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe-Ag

© С. И. Рябцев, В. Ф. Башев, В. А. Мусинова, И. С. Рябцев

Дніпропетровський національний університет

Проведено експериментальне дослідження структури, фазового складу, магнітних властивостей і змін електричного опору при постійному нагріванні пілівок Fe + (12.4—48.6) at. % Ag, отриманих модернізованим методом триелектродного напилення. Виявлено, що незмішувані навіть в рідкому стані залізо і срібло після загартування з пароподібного стану утворюють однорідні сплави з метастабільною структурою. Показано, що температурна стійкість метастабільних структур із збільшенням вмісту срібла зменшується. Виявлено різкі зміни магнітних і електрических властивостей пілівок Fe + 22.6 % Ag після відпалювання.

Структура тонких пленок, осажденных на холодную подложку методом ионно-плазменного напыления, по своей природе является неравновесной. При этом степень метастабильности структуры пленки зависит от условий получения и последующей обработки. Поэтому уже при комнатной температуре в таких пленках протекают процессы перестройки структуры, понижающие ее свободную энергию. Система Fe-Ag относится к классу систем, элементы которых полностью не смешиваются даже в жидким состоянии, и характеризуется чрезвычайно высокой положительной энергией смешения. Представляет значительный интерес получение однородных сплавов в таких системах с помощью модернизированного метода трехэлектродного ионно-плазменного напыления [1].

Исследовались пленки Fe + (12.4; 22.6; 48.6) at. % Ag. Фазовый состав пленок контролировался по рентгенограммам (рис. 1), снятых в фильтро-

ванном кобальтовом излучении в свеженапыленном состоянии и после нагревов, а также с помощью просвечивающей электронной микроскопии.

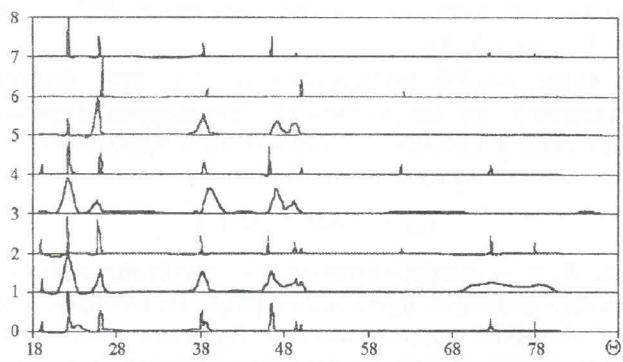


Рис. 1. Рентгенограммы чистого Fe(6), Ag(7) и пленок Fe-Ag в свеженапыленном (1, 3, 5) и термообработанном состоянии (0, 2, 4): 0; 1 — Fe + 46.8 % Ag; 2, 3 — Fe + 22.6 % Ag; 4, 5 — Fe + 12.4 % Ag