

ВПЛИВ СЕЙСМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, СОНЦЯ І МІСЯЦЯ НА МАЛІ ЗМІНИ КООРДИНАТ GNSS-СТАНЦІЙ

<https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.015>

Мета. Для вдосконалення визначення змін координат GNSS-станцій важливо з'ясувати, як на значення цих змін впливають процеси, які відбуваються в навколосемному просторі. Для опису таких процесів можна використати показник сейсмічної активності, показник інфразвуку та щоденну кількість спалахів на Сонці. У зв'язку з цим метою цієї роботи є дослідження впливу перелічених вище процесів на малі зміни координат GNSS-станцій. **Методика.** Для розв'язання поставленого завдання підібрано координати перманентної GNSS-станції, показники сейсмічної активності, показники інфразвуку та щоденну кількість спалахів на Сонці на одні і ті ж епохи протягом 295 днів. Для моделювання впливу процесів у навколосемному просторі на визначення змін координат розроблено методику побудови макромоделі за усередненими даними з використанням методу регуляризації за допомогою редукції апроксимативного базису поліномів багатьох аргументів. Аргументи поліномів при моделюванні вибрано так, щоб відобразити вплив зовнішніх чинників на координати. Параметри і відповідні їм мультиіндекси поліномів знайдено з ідентифікаційних задач, записаних регуляризаційними функціоналами Тіхонова. **Результати.** Побудовано макромодель, яка включає параметри сейсмічних процесів, Сонця, Місяця та координати GNSS-станції. Знайдено похідні та різні характеристики отриманої моделі. Для уточнення встановлених припущень застосовано кореляційний аналіз. **Наукова новизна.** Вперше отримано макромодель, що дає змогу обчислювати вплив показника сейсмічної активності, інфразвуку та сонячної активності на малі зміни координат GNSS-станцій. **Практична значущість.** Після дослідження цієї моделі отримано низку результатів, які можна застосувати для підвищення точності координат, отриманих за допомогою GNSS-спостережень.

Ключові слова: сейсмічна активність, інфразвук, сонячна активність, макромодель, координати GNSS-станції.

Вступ

До факторів, які впливають на точність визначення координат GNSS-станцій, належать інструментальні фактори, до яких можна віднести похибки за орбіту, стійкість фазового центру, використання різного програмного забезпечення тощо [Hardreaves, 1992]; фактори, пов'язані із середовищем розповсюдження супутникових сигналів; та геофізичні фактори [Hayakawa, 2015], які містять ефекти нерівномірності обертання Землі, вплив перерозподілу атмосферних та океанічних мас, тиск снігового покриву, теплове розширення порід, тектоніку плит тощо [Янків-Вітковська та ін., 2007]. Проте з розвитком сучасних технологій [Парновский та ін., 2010] вплив наведених вище факторів на визначення координат GNSS-станції все більше нівелюється і виникає необхідність дослідження інших, менш значимих факторів [Parrot & Soroka, 2007]. До таких факторів можна зарахувати малодосліджену частину геофізичних факторів [Кременецький, Черемних, 2009], пов'язаних із процесами, що відбуваються в навколосемному просторі, а саме сейсмічними процесами (сейсмічна активність та інфразвук), сонячною активністю та селеногенними процесами [Акасофу, Charman, 1972; Фридман, 2010]. Ця робота присвячена дослідженню

впливу таких факторів на зміни координат GNSS-станцій [Янків-Вітковська та ін., 2008].

Мета

Для пошуку способів виявлення змін координат GNSS станцій треба дослідити вплив факторів, зумовлених сейсмічними та селеногенними процесами і сонячною активністю.

Методика

Для розв'язання поставленого завдання ми використали часовий ряд у вигляді щотижневих координат перманентної GNSS-станції JOZE

$$\bar{x}(t_k), \bar{y}(t_k), \bar{z}(t_k) \quad (k = \overline{1, \bar{m}}), \quad (1)$$

де \bar{m} - кількість значень; t_k - моменти визначення координат, які відповідають щоденним значенням за 70–365 дні 2015 року [Янків-Вітковська, 2012].

Щоб описати вплив сейсмічних процесів, взято значення показника сейсмічної активності $g(t)$ й інфразвуку $v(t)$,

$$\bar{g}(t_k), \bar{v}(t_k) \quad (k = \overline{1, \bar{m}}), \quad (2)$$

визначені у ті самі моменти часу.

Вплив сонячної активності описано за щоденною кількістю спалахів на Сонці:

$$\bar{s}(t_k) \quad (k = \overline{1, \bar{m}}), \quad (3)$$

Додатково враховано показники впливу Місяця, а саме кутову висоту Місяця над горизонтом $h(t)$ у місцевості, де розміщена станція JOZE, і довжину проєкції на вісь обертання Землі $f(t)$ одиничного радіус-вектора, направлено з місцевості вимірювання координат на Місяць. Проте в ході побудови моделі, описаної нижче, ці величини були вилучені з апроксимаційного базису. З цього зроблено висновок, що в рамках досягнутої точності вплив Місяця на малі зміни результатів визначення координат є меншим, аніж вплив геогенних і геліогенних процесів.

На основі щоденних значень (1)–(3) з допомогою згладжувальної сплайн-апроксимації вираховано згладжені щогодинні значення цих же величин:

$$x(t_k), y(t_k), z(t_k), s(t_k), g(t_k), v(t_k) \quad (k = \overline{1, m}), \quad (4)$$

де m – кількість щогодинних значень.

Згладження застосовано, щоб полегшити розв'язання подальшого завдання виявлення впливу s, g, v на x, y, z .

Для моделювання впливу процесів у навколосемному просторі на визначення змін координат розроблено макромодель [Матвійчук, 2000; Матвійчук, Паучок, 2006] із такою структурою:

$$\begin{aligned} x'_0 &= x_1; x'_1 = x_2; x'_2 = x_3; \\ x'_3 &= P_x(x_0, x_1, x_2, x_3, y_2, y_3, z_2, z_3, s_0, s_1, g_0, g_1, v_0, v_1); \\ y'_0 &= y_1; y'_1 = y_2; y'_2 = y_3; \\ y'_3 &= P_y(x_2, x_3, y_0, y_1, y_2, y_3, z_2, z_3, s_0, s_1, g_0, g_1, v_0, v_1); \\ z'_0 &= z_1; z'_1 = z_2; z'_2 = z_3; \\ z'_3 &= P_z(x_2, x_3, y_2, y_3, z_0, z_1, z_2, z_3, s_0, s_1, g_0, g_1, v_0, v_1), \end{aligned} \quad (5)$$

де P_x, P_y, P_z – поліноми від багатьох аргументів.

Аргументи цих поліномів вибрано так, щоб відобразити вплив зовнішніх чинників на координати.

Параметри c_I, c_J, c_K і відповідні їм мульти-індекси I, J, K поліномів P_x, P_y, P_z знайдено з ідентифікаційних задач, записаних регуляризаційними функціоналами Тихонова [Тихонов та ін., 1990]:

$$\begin{aligned} \min_{c_I} & \left(\sum_{k=1}^m [x^{(4)}(t_k) - P_x(t_k)]^2 + a_x \sum_I c_I^2 \right); \\ \min_{c_J} & \left(\sum_{k=1}^m [y^{(4)}(t_k) - P_y(t_k)]^2 + a_y \sum_J c_J^2 \right); \\ \min_{c_K} & \left(\sum_{k=1}^m [z^{(4)}(t_k) - P_z(t_k)]^2 + a_z \sum_K c_K^2 \right), \end{aligned} \quad (6)$$

де a_x, a_y, a_z – параметри регуляризації; символами $P_x(t), P_y(t), P_z(t)$ позначено:

$$\begin{aligned} P_x(t) &= P_x(x_0(t), x_1(t), x_2(t), x_3(t), y_2(t), y_3(t), z_2(t), z_3(t), \\ & \quad s_0(t), s_1(t), g_0(t), g_1(t), v_0(t), v_1(t)); \\ P_y(t) &= P_y(x_2(t), x_3(t), y_0(t), y_1(t), y_2(t), y_3(t), z_2(t), z_3(t), \\ & \quad s_0(t), s_1(t), g_0(t), g_1(t), v_0(t), v_1(t)); \\ P_z(t) &= P_z(x_2(t), x_3(t), y_2(t), y_3(t), z_0(t), z_1(t), z_2(t), z_3(t), \\ & \quad s_0(t), s_1(t), g_0(t), g_1(t), v_0(t), v_1(t)). \end{aligned} \quad (7)$$

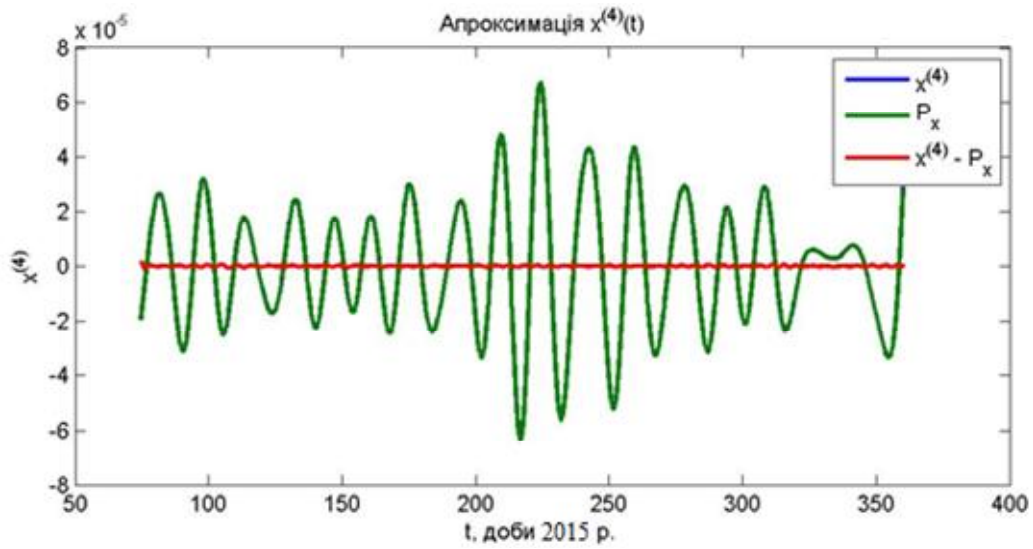
При повному наборі коефіцієнтів кожен із поліномів 3-го степеня має 680 доданків. Для розв'язання ідентифікаційної задачі застосовано метод регуляризації з допомогою редукції апроксимаційного базису поліномів багатьох аргументів [Курганевич, Матвійчук, 2000; Паучок, 2010]. Після редукції кількість коефіцієнтів у поліномах зменшено до 118–123 елементів. Зауважимо, що саме в результаті цієї редукції з апроксимаційного базису всіх поліномів видалено всі елементи, що описують вибрані два параметри впливу Місяця $h(t), f(t)$.

Результати

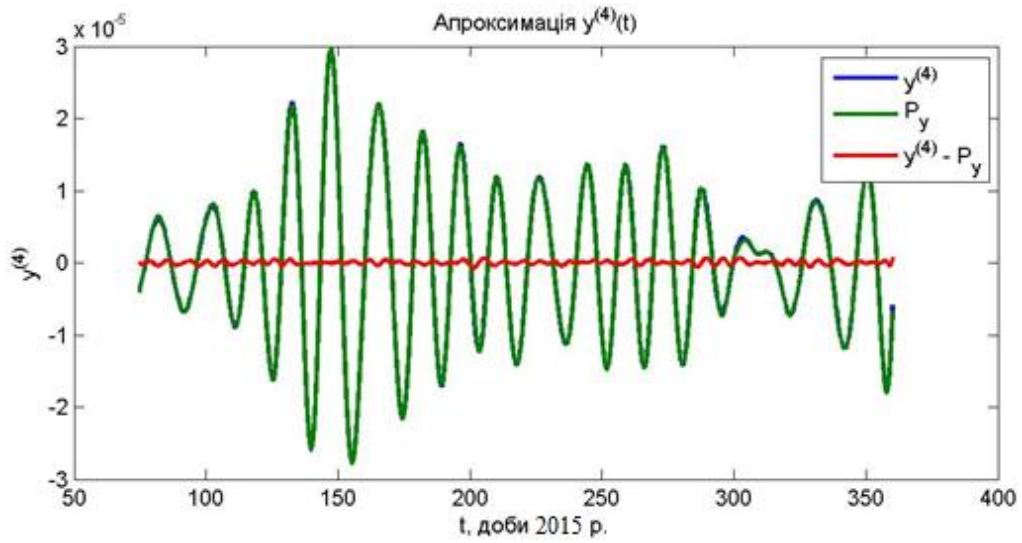
Результати побудови описаної вище моделі проілюстровано на рис. 1 та 2.

З'ясувалося, що апроксимація 4-х похідних від змін геодезичних координат $x^{(4)}(t), y^{(4)}(t), z^{(4)}(t)$ поліномами багатьох аргументів (6) має специфічні особливості. По-перше, апроксимація 4-ї похідної кожної з координат відповідним поліномом багатьох аргументів є достатньо точною. На рис. 1 показано графіки апроксимованих похідних та графіки апроксимованих залежностей. На цих графіках не видно розбіжності між ними. Похибка наближення має порядок $2 \div 8 \times 10^{-7} \text{ м с}^{-4}$ при тому, що апроксимовані величини мають порядок $2 \div 8 \times 10^{-5} \text{ м с}^{-4}$. Тобто відносна похибка наближення 4-ї похідної однієї координати поліномом від похідних від решти координат і зовнішніх чинників s, g, v має порядок 10^{-2} .

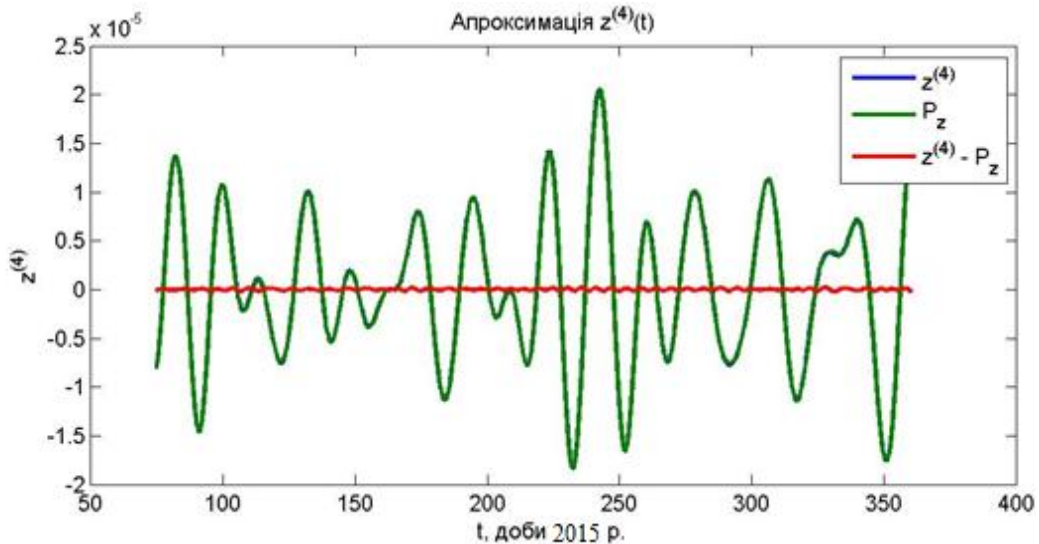
Виникнення такої достатньо високої точності наближення вказує на те, що всі величини (4) є реалізацією певного динамічного процесу, в якому прямими і зворотними (рекурсивними) впливами пов'язані координати x, y, z й похідні від них, які до того залежать від s, g, v й похідних від них. Цей зв'язок між названими величинами в математичній моделі проявляється в тому, що одна з похідних координат функціонально залежить від похідних усіх координат і трьох чинників гео-геліогенного походження.



а

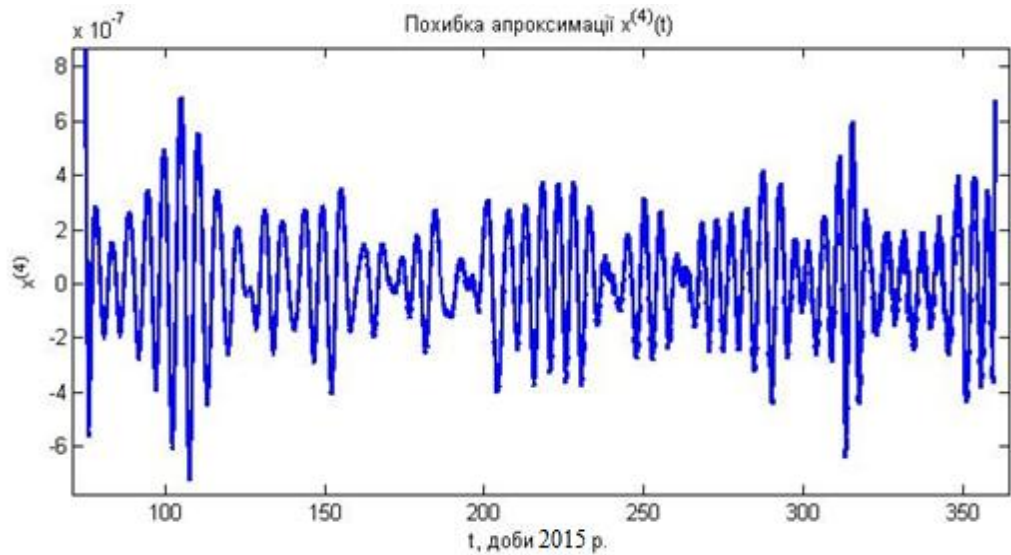


б

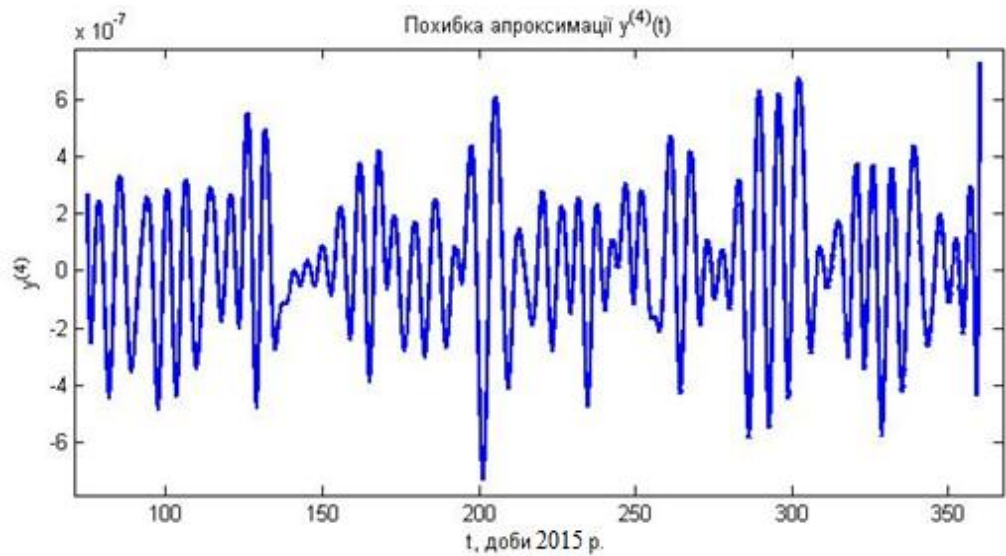


в

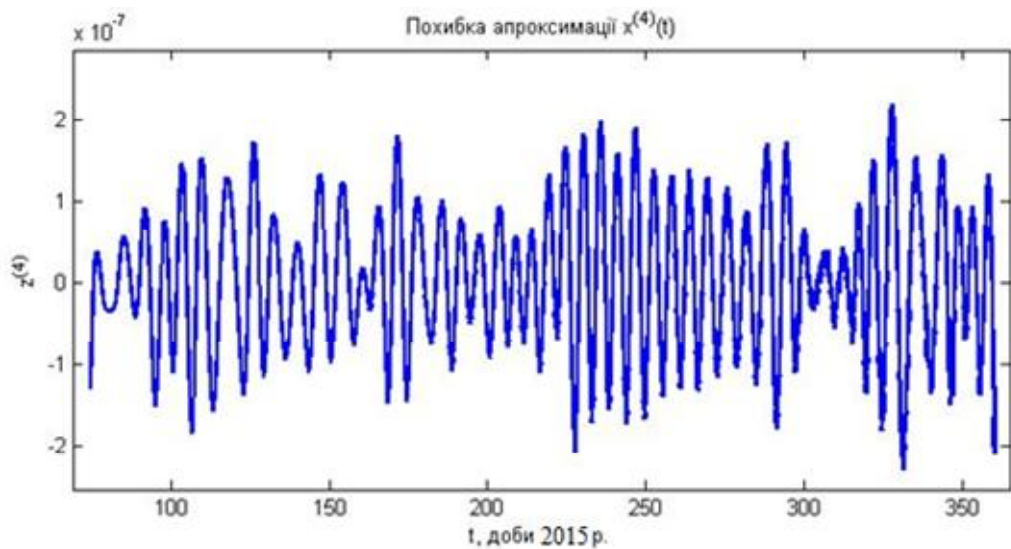
Рис. 1. Графіки (а) $x^{(4)}(t)$ (сині кольором), її поліноміального наближення P_x (зеленим) і похибки наближення (червоним); графіки (б) $y^{(4)}(t)$ (синім), її поліноміального наближення P_y (зеленим) і похибки наближення (червоним); графіки (в) $z^{(4)}(t)$ (синім), її поліноміального наближення P_z (зеленим) і похибки наближення (червоним)



а



б



в

Рис. 2. Графіки похибки наближення $x^{(4)} - P_x$ (а); графіки похибки наближення $y^{(4)} - P_y$ (б); графіки похибки наближення $z^{(4)} - P_z$ (в)

Враховуючи існування диференціального динамічного процесу, спостереженого за ізоморфізму між похідними від x, y, z, s, g, v й динамічними змінними процесу, спостереженого за даними (4), доходимо висновку, що в межах

досягнутої точності чинники s, g, v динамічно впливають на зміни координат x, y, z , а всі координати є динамічно залежними між собою. Цей висновок випливає з наявності малих відносних похибок наближення $D_r = r^{(4)} - P_r$ ($r = x, y, z$) й припущення про диференціальну ізоморфність між похідними від (4) й змінними стану невідомої

динамічної системи, яку спостережено за процесом (4). Щоб підтвердити наявність цієї диференціальної ізоморфності розв'язано рівняння (5) з параметрами c_I, c_J, c_K поліномів P_x, P_y, P_z , знайдених із розв'язування задач (6).

На рис. 3–5 зображено графіки похідних від координат і відповідних їм динамічних змінних, знайдених із розв'язування рівнянь (5).

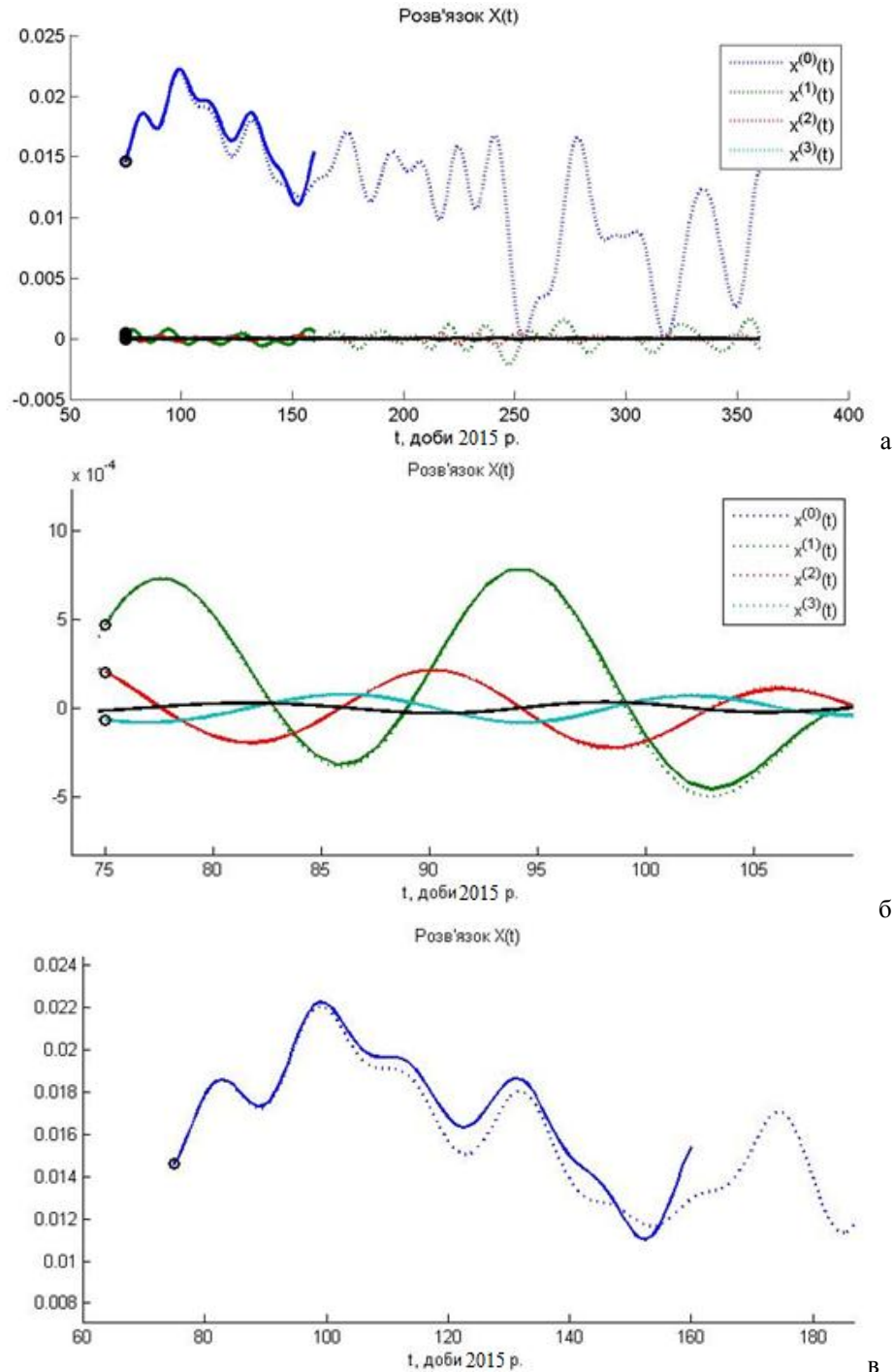
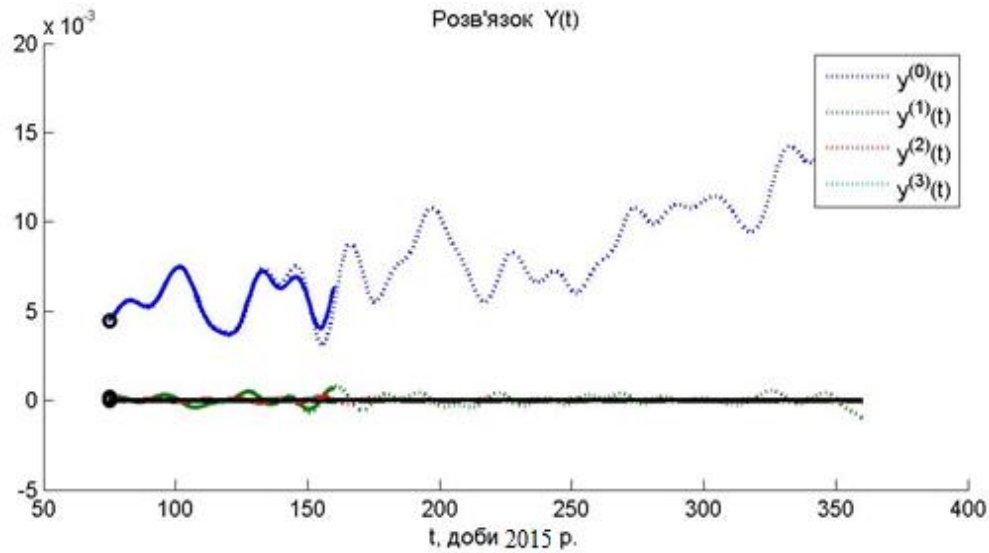
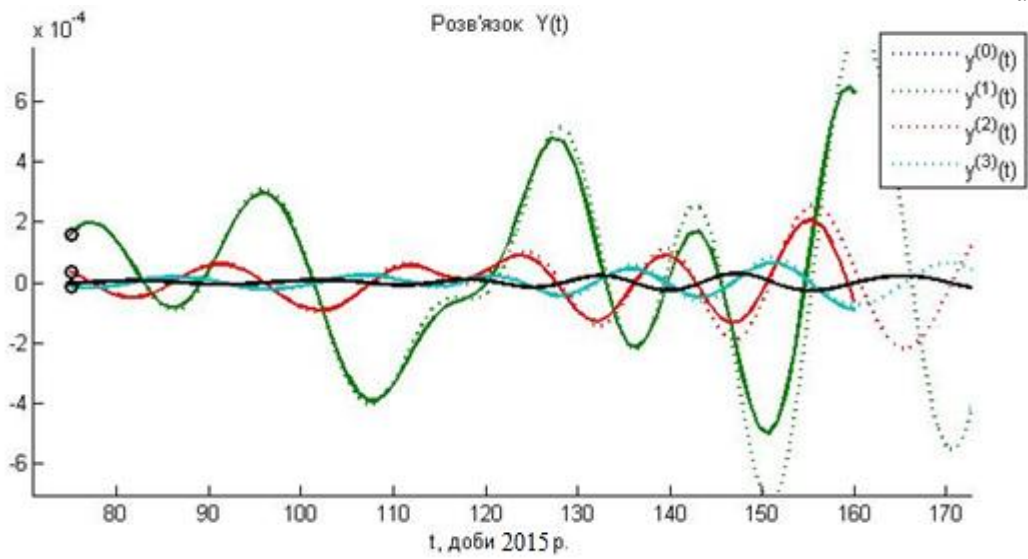


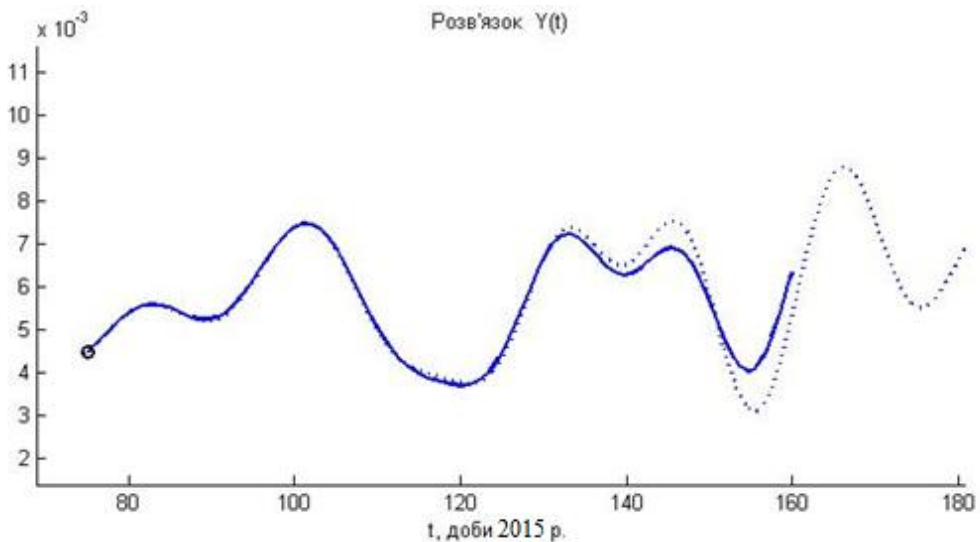
Рис. 3. Графіки похідних $x^{(i)}$ ($i = \overline{0,3}$) та відповідних змінних стану x_i ($i = \overline{0,3}$) (а); графіки похідних $x^{(i)}$ ($i = \overline{1,3}$) та відповідних змінних стану x_i ($i = \overline{1,3}$) у збільшеному масштабі (б); графіки $x^{(0)}$ та відповідної змінної стану x_0 у збільшеному масштабі (в)



а

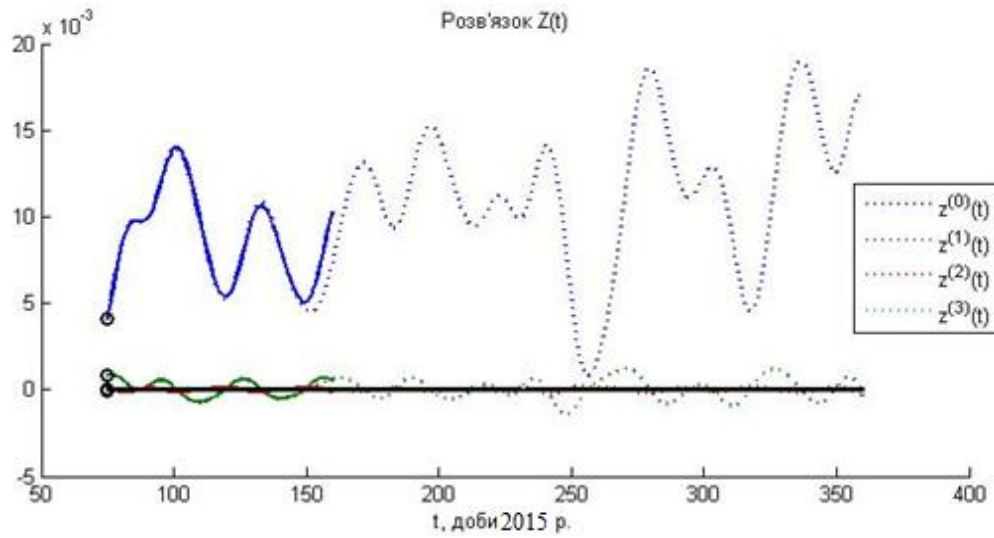


б

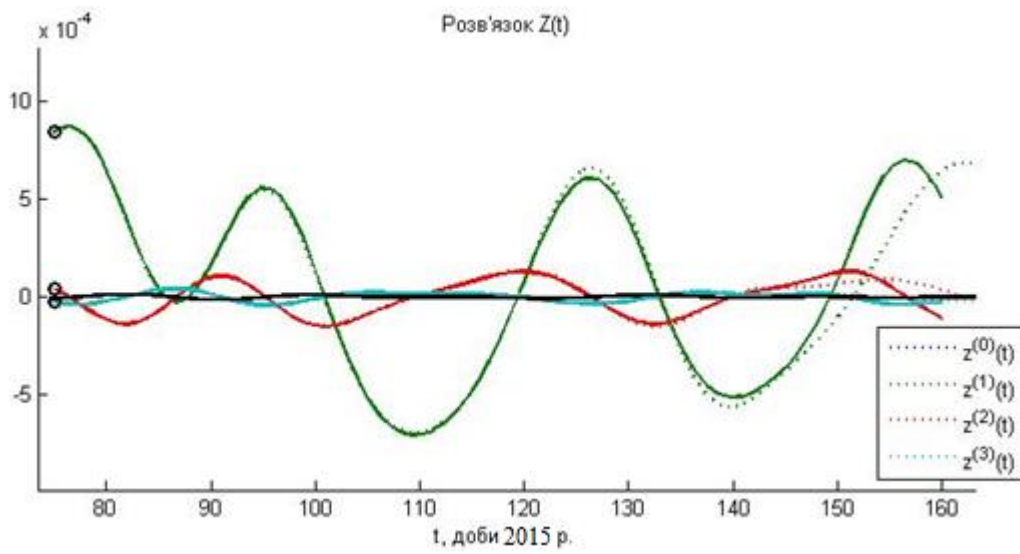


в

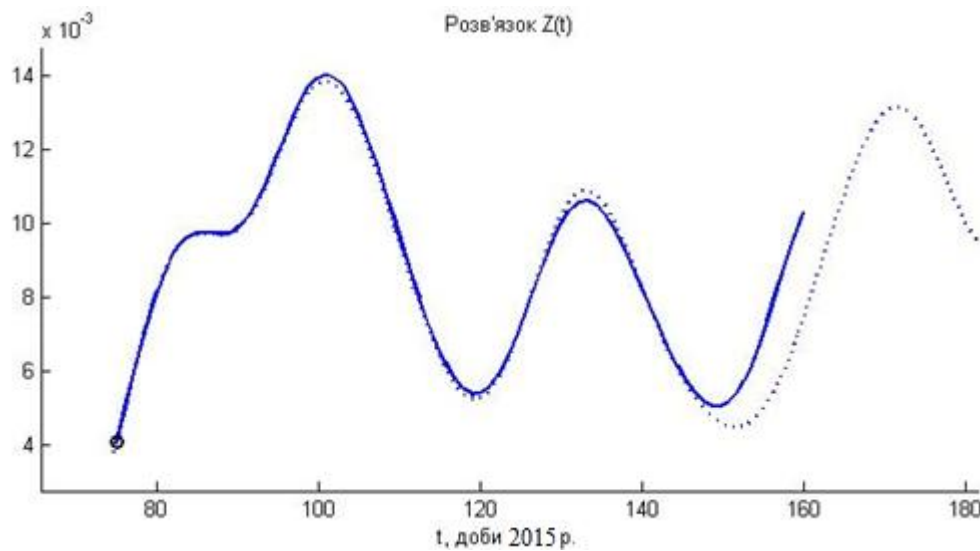
Рис. 4. Графіки похідних $y^{(i)}$ ($i = \overline{0,3}$) та відповідних змінних стану y_i ($i = \overline{0,3}$) (а); графіки похідних $y^{(i)}$ ($i = \overline{1,3}$) та відповідних змінних стану y_i ($i = \overline{1,3}$) у збільшеному масштабі (б); графіки $y^{(0)}$ та відповідної змінної стану y_0 у збільшеному масштабі (в)



а

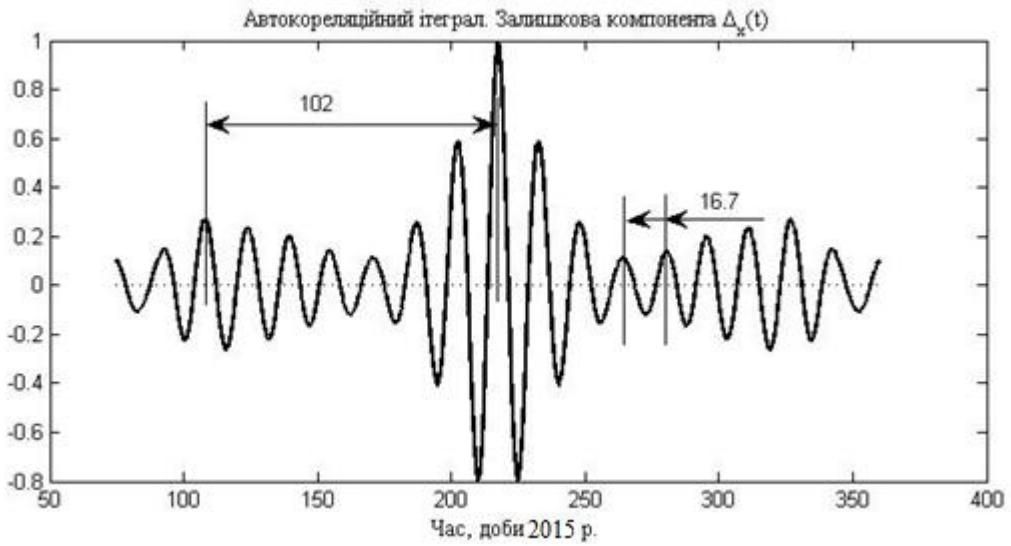


б

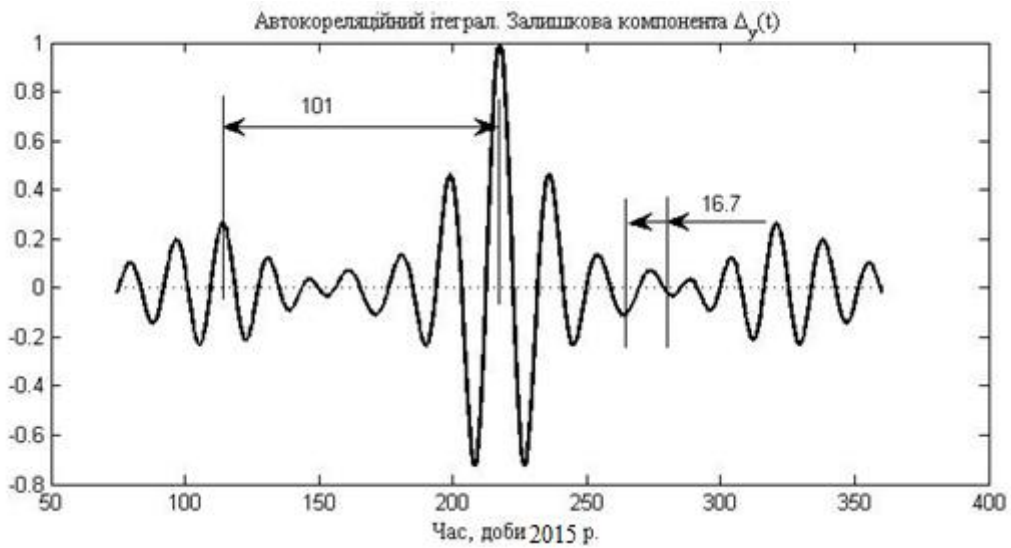


в

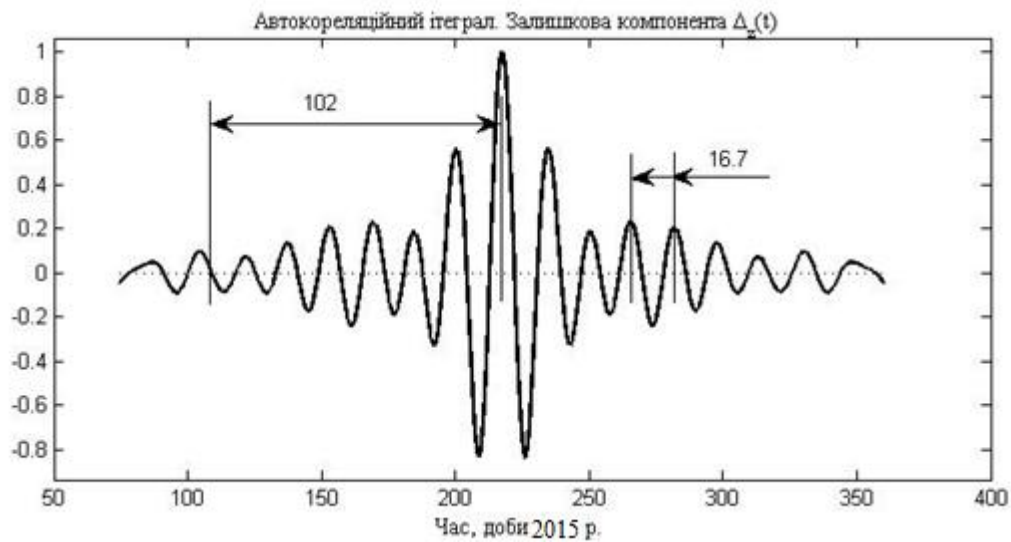
Рис. 5. Графіки похідних $z^{(i)}$ ($i = \overline{0,3}$) та відповідних змінних стану z_i ($i = \overline{0,3}$) (а); графіки похідних $z^{(i)}$ ($i = \overline{1,3}$) та відповідних змінних стану z_i ($i = \overline{1,3}$) у збільшеному масштабі (б); графіки $z^{(0)}$ та відповідної змінної стану z_0 у збільшеному масштабі (в)



а



б



в

Рис. 6. Графік автокореляційного інтегралу від похибки наближення $x^{(4)} - P_x$ (а); графік автокореляційного інтегралу від похибки наближення $y^{(4)} - P_y$ (б); графік автокореляційного інтегралу від похибки наближення $z^{(4)} - P_z$ (в)

Як видно з цих рисунків, макромодель (5), ідентифікована за даними (4), має високу точність. Це доводить наявність ізоморфізму між похідними від (4) і невідомими динамічними змінними, які породжують процес, відображений значеннями величин (4). Це означає, що координати x, y, z динамічно взаємозалежні і динамічно залежать від сонячної активності s й геосейсмічної активності g, v зовнішнього впливу.

Розглянемо ще один факт, який впливає із розв'язання задачі (6). На рис. 2 показано графіки похибок наближень $D_r = r^{(4)} - P_r$ ($r = x, y, z$). Як видно з цих графіків, похибка наближення $D_r(t)$ ($t \in [t_1, t_m]$; $r = x, y, z$) має якісний вид певного динамічного процесу і не має ознак випадкової величини, характерної для похибок наближення. Це дає підстави припускати, що похибка наближення $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) відображає певну невраховану компоненту впливу зовнішнього середовища на 4-ту похідну координат, а, отже, і власне, на координати.

Непряме підтвердження того, що похибка $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) – це неврахована компонента (наслідків певного зовнішнього впливу), впливає з того, що розширення апроксимаційного базису поліномів P_x, P_y, P_z підвищенням степеня й порядку похідних – його аргументів, не покращувало точності апроксимації (6). Адже в результаті регуляризованого розв'язування задач (6) з допомогою процедури редукції – кількість коефіцієнтів апроксимації знижено, і це приводило до того, що похибка апроксимації $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) набувала виду реалізації певного динамічного процесу.

Ґрунтуючись на припущенні, що похибка наближення $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) виражає невраховану компоненту зовнішнього впливу на похибку визначення змін координат, визначено завдання дослідити закономірності її зміни з часом.

Щоб розкрити особливості динамічної зміни компоненти $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) вираховано автокореляційні інтеграли від $D_r(t)$ ($r = x, y, z$). Графіки автокореляційних інтегралів від “залишкових” компонент $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) зображено на рис. 6.

З цих графіків видно, що автокореляційний інтеграл від $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) має вид коливної функції. Повторення короткотривалих коливань цього інтегралу відбувається протягом 16.76 діб. Половина цієї величини (8.38) співмірна з тривалістю тижня, тобто проміжку часу усереднень, що у свій час застосувалася під час визначення координат для GNSS-станцій. З цього впливає припущення, що вибраний проміжок

часу, через який визначають координати, проявляється на виявленій залишковій компоненті $D_r(t)$ ($r = x, y, z$).

Цікаво, що відстань між двома максимумами огинаючої автокореляційних інтегралів для всіх координат приблизно одна і та сама і дорівнює $101 \div 102$ діб.

Коливний характер автокореляційного інтегралу залишкових компонент $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) означає, що через проміжки часу 16.76 діб середнє значення неврахованого (в моделі (5)) фактора то більше, то менше залежить від значень у минулі проміжки часу.

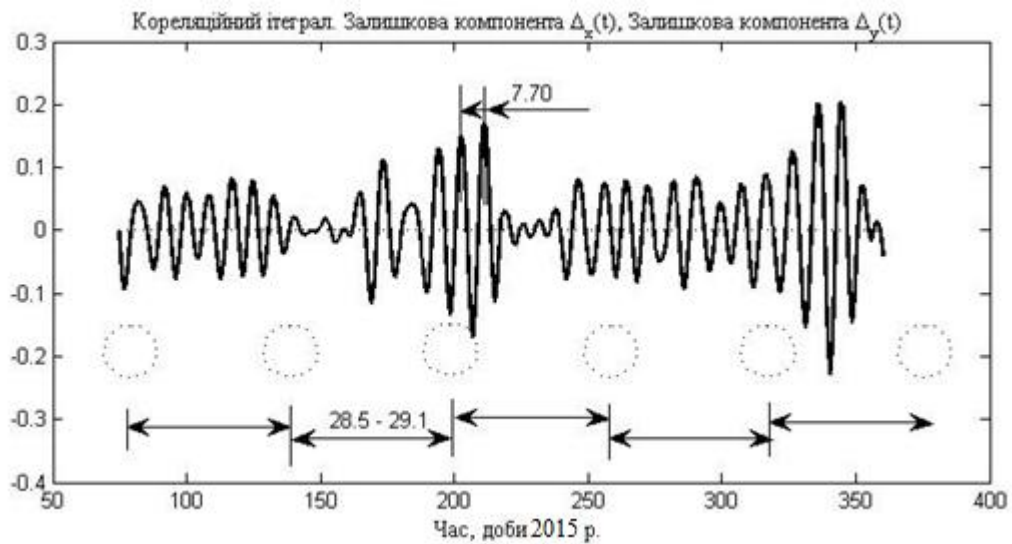
Щоб уточнити встановлені припущення вираховано взаємні кореляційні інтеграли між функціями $D_r(t)$ ($r = x, y, z$). Їхні графіки показано на рис. 7.

З цих графіків видно, що взаємні кореляційні інтеграли мають дві коливні складові. Одна з них має період приблизно 7.70–8.14 діб. Інша коливна складова має період 28.5–29.1 діб. Це приблизно відповідає тривалості тижня й місяця. Періодичні повторення з місячною тривалістю виразно видно на рис. 7,в. На рис. 7,а,в вона виражена не так явно. На рис. 7,в овалами показано області екстремумів огинальної взаємного кореляційного інтегралу між $D_x(t)$ і $D_z(t)$. На рис. 7,а,в ці ж області показано пунктирними овалами. Видно, що екстремуми огинальної від взаємних кореляційних інтегралів між всіма функціями $D_r(t)$ ($r = x, y, z$) розміщені через майже однакові проміжки часу, які становлять приблизно один період обертання Місяця навколо Землі. Це непрямо вказує на наявність своєрідної модулюючої дії припливних сил Місяця на результати визначення змін координат GNSS-станцій. Щодо координат станції JOZE ця дія найімовірніше помітна в площині (x, z) і менш помітна в площинах (x, y) , (y, z) .

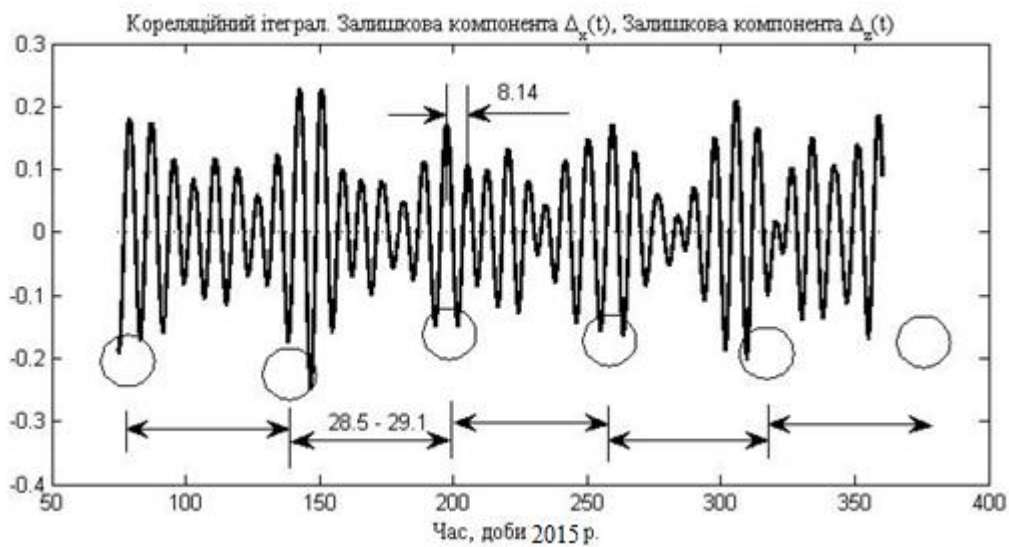
Такі спостереження можуть означати, що на визначення змін координат позначаються припливні сили Місяця, хоч через недостатню точність обчислень величини $h(t), f(t)$ вилучені з моделі (5) під час редукції апроксимаційного базису при розв'язуванні ідентифікаційних задач визначення параметрів й мультиіндексів поліномів багатьох аргументів.

Наукова новизна і практична значущість

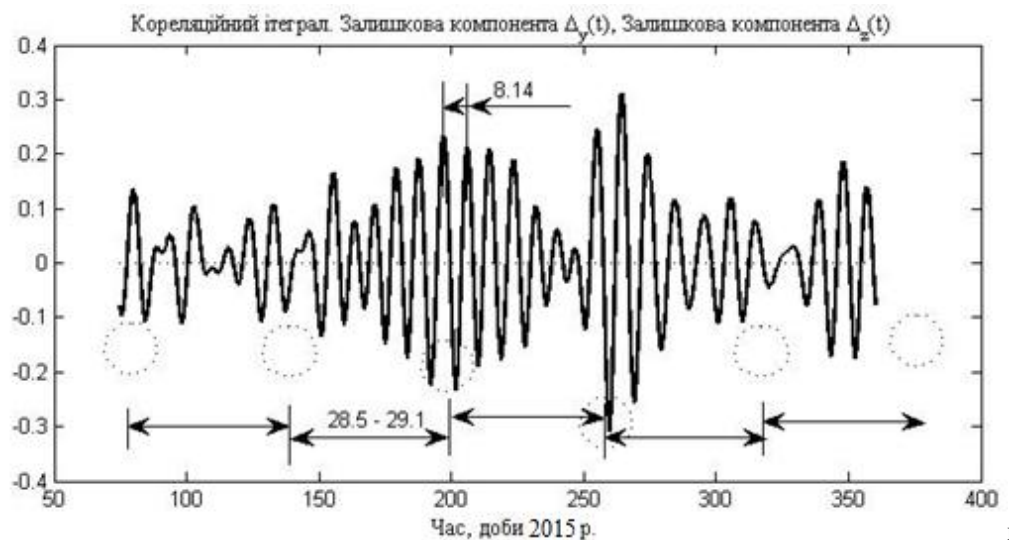
Уперше побудовано макромодель, що дає змогу обчислювати вплив показника сейсмічної активності, інфразвуку та сонячної активності на малі зміни координат GNSS-станцій. Після дослідження цієї моделі отримано ряд результатів, які можна застосувати для підвищення точності координат, отриманих за допомогою GNSS спостережень.



а



б



в

Рис. 7. Графік автокореляційних інтегралів, вирахованих між похибками наближення $x^{(4)} - P_x$ й $y^{(4)} - P_y$ (а); між похибками наближення $x^{(4)} - P_x$ й $z^{(4)} - P_z$ (б); між похибки наближення $y^{(4)} - P_y$ й $z^{(4)} - P_z$ (в)

Висновки

У цій роботі можна зробити такі висновки:

– розроблено макромодель для дослідження впливу процесів у навколоземному просторі на визначення змін координат GNSS-станцій, при побудові якої для розв’язання ідентифікаційної задачі застосовано метод регуляризації з допомогою редукції апроксимаційного базису поліномів багатьох аргументів;

– в межах досягнутої точності такі чинники як вплив сонячної активності, показник сейсмічної активності та інфразвук динамічно впливають на зміни координат x, y, z , а останні є динамічно залежними між собою;

– взаємні кореляційні інтеграли, обчислені між різними похибками наближення, мають дві коливні складові.

Список літератури

Акасофу С. И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. – М.: Мир, 1975.
 Кременецкий І. А., Черемних О. К. Космічна погода: механізми і прояви. – К.: Наукова думка, 2009.
 Курганевич А. П. Регуляризація задачі ідентифікації макромоделей нелінійних динамічних систем методом редукції апроксимаційного базису / А. П. Курганевич, Я. М. Матвійчук // Теоретична електротехніка. – 2000. – Вип. 55. – С. 31–36.
 Матвійчук Я. М. Математичне макромодельовання динамічних систем: теорія і практика. – Львів : Вид-во ЛНУ, 2000. – 214 с.
 Матвійчук Я. Постановка задачі макромодельовання гео-геліогенних величин / Я. Матвійчук, В. Паучок // Вісник НУ Львівська політехніка: Телекомунікації і радіоелектроніка. – № 557. – 2006. – С. 171–173.
 Парновский А. С., Ермолаев Ю. И., Жук И. Т. Космическая погода: история исследования и прогнозирование // Космічна наука і технологія. – 2010. – Т. 16. – № 1. – С. 90–99.
 Паучок В. К. Регуляризована ідентифікація математичних макромоделей процесів і систем різної природи. – Рукопис. Дисертація

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. – Національний університет «Львівська політехніка» МОН України. – Львів, 2010.

Тихонов А. Н. Численные методы решения некорректных задач / Тихонов А. Н., Гончаровский А. В., Степанов В. В., Ягола А. Г. – М.: Наука, 1990. – 230 с.
 Фридман А. М., Поляченко Е. В., Насырканов Н. Р. О некоторых корреляциях в сейсмомоделировании активности Земли // УФН. – 2010. – № 3. – С. 303–312.
 Янків-Вітковська Л., Паучок В. Про макромоделі змін геодезичних координат і геосейсмічних процесів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск II(24), 2012, р. 188–191.
 Янків-Вітковська Л. М. До аналізу систематичних похибок координат перманентної GPS станції SULP, / Л. М. Янків-Вітковська, С. Г. Савчук, В. К. Паучок // Вісник геодезії і картографії. – Київ. – 2007. – № 5. – С. 9–13.
 Янків-Вітковська Л. М. Дослідження динаміки змін координат перманентних GPS станцій / Л. М. Янків-Вітковська, С. Г. Савчук, В. К. Паучок // Вісник геодезії і картографії. – Київ. – 2008. – № 1. – С. 7–12.
 Янків-Вітковська Л. М. Дослідження змін координат GNSS-станцій методом макромодельовання // Матвійчук Я. М., Савчук С. Г., Паучок В. К. // Вісник геодезії та картографії. – Київ. – 2012. – № 3. – С. 9–17.
 Akasofu, S. I., & Chapman, S. (1972). Solar-terrestrial physics. Oxford (International Series of Monographs on Physics) (Clarendon Press)
 Hardreaves, J. K. (1992). *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Univ. press.
 Hayakawa, M. (2015). *Earthquake Prediction with Radio Techniques*, Wiley & Sons, Singapore.
 Parrot, M., Hayosh, M., & Soroka, S. (2007). *Acoustic experiments in the ionosphere with the DEMETER satellite*, EGU General Assembly, Vienna, 15–20 April 2007, 1607-7962/gra/EGU2007- A-04428.

S. SAVCHUK, L. YANKIV-VITKOVSKA, B. DZHUMAN

Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandera Str., Lviv, Ukraine, 79013, ph. +38 (068) 7632139, e-mail: teojuman@gmail.com

THE INFLUENCE OF SEISMIC PROCESSES, SUN AND MOON ON THE SMALL CHANGES OF COORDINATES OF GNSS-STATIONS

Aim. In order to improve the definition of GNSS-stations coordinate changes, it is important to find out how the processes that occur in the near-Earth space influence the significance of these changes. To describe such processes we can use the seismic activity index, the infrasound rate, and the number of daily flashes in the Sun. In this regard the purpose of this work is to study the influence of the above processes on small changes in the coordinates of GNSS-stations. **Method.** To solve this problem we have selected the coordinates of permanent

GNSS-station, seismic activity indicators, infrasound indicators and the number of daily flares in the Sun for the same 295 day epoch. For modeling the influence of processes in the near-Earth space on the definition of coordinate changes the method of constructing a macromodel is developed based on averaged data with the use of a regularization method and with help of the reduction of the approximation basis of many arguments of polynomials. The arguments of the polynomials in the modelling are chosen to reflect the influence of external factors on the coordinates. Parameters and their corresponding multitudes of polynomials are found from the identification tasks recorded by the Tikhonov regularization functions. **Results.** We constructed a macromodel that includes parameters of seismic processes, the Sun, the Moon, and the coordinates of the GNSS-station. We have found derivatives and different characteristics of the obtained model. Correlation analysis we used to clarify the assumptions. **Scientific novelty.** For the first time a macromodel was obtained which allows to calculate the influence of the index of seismic activity, infrasound and solar activity on small changes in the coordinates of GNSS-stations. **Practical significance.** After studying this model we obtained results that can be used to increase the accuracy of coordinates obtained using GNSS-observations.

Key words: seismic activity, infrasound, solar activity, macromodel, coordinates of GNSS-station.

С. Г. САВЧУК, Л. Н. ЯНКІВ-ВИТКОВСКАЯ, Б. Б. ДЖУМАН

Кафедра высшей геодезии и астрономии, Национальный университет "Львовская политехника", ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013, тел. +38(068)7632139, teojuman@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, СОЛНЦА И ЛУНЫ НА МАЛЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КООРДИНАТ GNSS-СТАНЦИЙ

Цель. Для совершенствования определения изменений координат GNSS-станций важно выяснить, как на значение этих изменений влияют процессы, происходящие в околоземном пространстве. Для описания таких процессов можно использовать показатель сейсмической активности, показатель инфразвука и ежедневное количество вспышек на Солнце. В связи с этим целью данной работы является исследование влияния вышеперечисленных процессов на малые изменения координат GNSS-станций. **Методика.** Для решения поставленной задачи нами было подобрано координаты перманентной GNSS-станции, показатели сейсмической активности, показатели инфразвука и ежедневное количество вспышек на Солнце на одни и те же эпохи на протяжении 295 дней. Для моделирования влияния процессов в околоземном пространстве на определение изменений координат разработана методика построения макромоделей по усредненным данным с использованием метода регуляризации с помощью редукции аппроксимационного базиса полиномов многих аргументов. Аргументы полиномов при моделировании выбрано так, чтобы отразить влияние внешних факторов на координаты. Параметры и соответствующие им мультииндексы полиномов найдено с идентификационных задач, записанных регуляризационными функционалами Тихонова. **Результаты.** Построено макромоделей, которая включает параметры сейсмических процессов, Солнца, Луны и координаты GNSS-станции. Найдено производные и различные характеристики полученной модели. Для уточнения установленных предположений применен корреляционный анализ. **Научная новизна.** Впервые получены макромоделей, что позволяет вычислять влияние показателя сейсмической активности, инфразвука и солнечной активности на малые изменения координат GNSS-станций. **Практическая значимость.** После исследования данной модели получен ряд результатов, которые можно применить для повышения точности координат, полученных с помощью GNSS-наблюдений.

Ключевые слова: сейсмическая активность, инфразвук, солнечная активность, макромоделей, координаты GNSS-станции.

Надійшла 17.09.2018 р.