

УДК 550.34 :539.3

В. Сівак, електромеханік

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХІВ ГЕОСФЕР

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)

Результати експериментальних досліджень дали можливість визначити вплив динамічних процесів, які відбуваються в надрах Землі та на її поверхні на швидкість руху твердих оболонок Землі. На основі виконаного гармонійного аналізу форм втрати стійкості земної кори при її комбінованому навантаженні, які відбиті на її поверхні і форм коливань тонкої оболонки на мінімальній власній частоті коливань встановлено, що вони подібні.

Experimental investigation results gave a possibility of influence determination of dynamical processes that take place in the interior of the earth and on its surface on motion velocities of solid shells of the earth. It was established on the base of fulfilled harmonical analysis of earths crust buckling at its combined loading on it surface and thin shell vibration forms, that they are similar.

Вступ. Серед глобальних проблем еволюції Землі стоять задачі, які пов'язані з рухами геосфер і літосферних плит, а також, задачі, пов'язані з різким збільшенням вісьового навантаження земної кори після збудження коливань в літосфері Землі. Відзначимо, що задачі, які пов'язані з впливом на несучу здатність земної кори динамічних явищ, які виникають при втраті стійкості, раніше не розглядались. Актуальність цієї проблеми відзначалась в роботі [2]. В роботі [3] тектонічні процеси в земній корі розглянуто з механічної точки зору з використанням методів опору матеріалів і теорії оболонок. Відзначається, що приливно – відливні процеси в земній корі, які обумовлені дією Місяця і Сонця, є основною причиною гороутворення. В роботі [3] також відзначається, що незрозумілим є те, чому материки розміщені в формі трилистника. Не ясно, чому материки і острови розміщені в більшості в Північній півкулі, тоді як основну частину Південної півкулі займають океанські западини. В даній роботі зроблена спроба вирішити деякі з вказаних задач за допомогою резонансного методу.

Експериментальне моделювання механізму зміни швидкості обертання Землі.

Метою даної роботи є моделювання механізму зміни швидкості обертання однієї твердої оболонки Землі відносно інших при дії на одну з них динамічного навантаження в резонансному режимі.

Частоти і форми коливань оболонки, наповненої рідиною.

Для експериментального дослідження використовувались дві циліндричні оболонки і одна конічна. Розміри циліндричних оболонок наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Геометричні параметри оболонок

Номери оболонок	L, см	R, см	h, см
1	50	15	0,05
3	24	4,7	0,01

Оболонка №1 була підкріплена 20 стрінгерами довжиною 48 см рівномірно розміщеними на внутрішній її поверхні. Стрінгери кутового профілю 1,5x 1,5x0,05 см. Конічна оболонка №2 радіусом більшої основи $R_6=12$ см, радіусом меншої основи $r=7$ см і висотою $H=13,8$ см. Оболонки №1 – №3 виготовлені з алюмінієво – магнієвого сплаву АМг – 6М. Края оболонки №1 були підкріплені пасками шириною по 1 см і товщиною 0,05 см. Товщини пасків дорівнювали 0,05 см. Стрінгери і паски були приварені до оболонки точковим зварюванням. Нижній край оболонки №1 вставлявся в кільцевий паз масивного сталюого диску, наповненого розплавленим воском при затвердінні якого були реалізовані умови, що близькі до жорсткого защемлення нижнього краю оболонки. Верхній край оболонки №1 лишався вільним. В процесі експериментів оболонка №1 наповнювалась рідиною. В якості рідини використовувалась технічна вода. Схема експериментальної установки наведена на рис. 1.

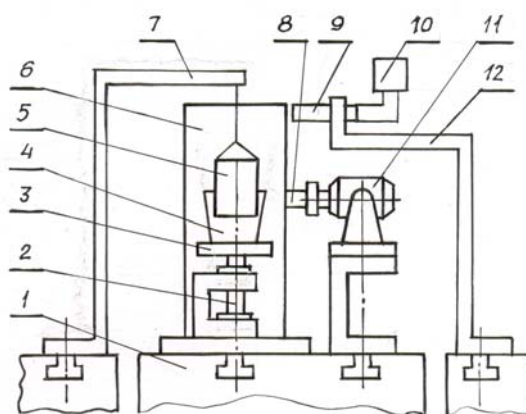


Рис. 1. Установка для моделювання синхронізації коливань і обертання твердих оболонок Землі

Власні частоти і форми коливань оболонки №1~6 визначались резонансним методом. Оболонка №1 жорстко прикріплювалась до масивної основи 1. Збудження коливань оболонки виконувалось за допомогою вібратора 11 вібростенду ВЕДС – 10А та шпильки 8. Частота вимушених коливань реєструвалась частотоміром електроннолінійним ЧЗ-32 (на рис. 1 не показаний) з точністю до 1 Гц. Форма коливань оболонки №1 в окружному напрямі визначалась шляхом вимірювань амплітуд коливань оболонки в її середньому перетині в двадцятьох точках. Вимірювання амплітуд коливань проводились за допомогою безконтактного віброперетворювача 9 і блоку ВВВ – 302~10. Віброперетворювач 9 був жорстко прикріплений до кронштейну 12. Результати вимірювань власних частот і форм коливань для форм коливань з $n=3-5$ (n – число хвиль в окружному напрямі) для оболонки №1 показані на рис. 2. Кругами, трикутниками і квадратами позначені експериментальні значення, відповідно, для $n=3-5$ (при $H_1=0;0,25;0,5;0,75$ і 1 ($H_1=H/L$, H – висота наповнення оболонки рідиною, L – довжина оболонки). На рис. 2 експериментальні дані умовно з'єднані штриховими лініями.

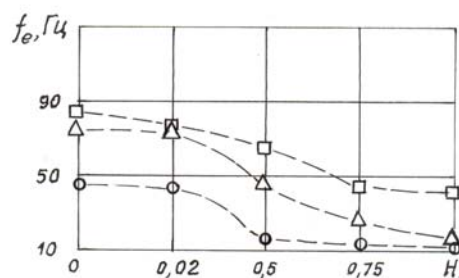


Рис. 2. Залежність власних частот коливань від висоти наповнення оболонки №1 рідиною

З аналізу одержаних результатів, наведених на рис. 2, випливає, що при збільшенні рівня наповнення оболонки рідиною її власні частоти коливань суттєво зменшуються.

Експериментальне моделювання механізму зміни швидкості обертання твердих оболонок Землі.

Для моделювання швидкості обертання твердих оболонок Землі оболонки №2 і №3 встановлювались всередині оболонки №1. Оболонка №2 ~ 4 встановлювалась на пластині 3 ~ 3, яка за допомогою гайки М8 була жорстко прикріплена до вертикальної вісі. Вісь 2 встановлена на двох підшипниках так, що її вісь співпадала з вісю оболонки №1. Оболонка №3 ~ 5 підвішувалась за допомогою трьох легких ниток до масивного кронштейну 7. При цьому її нижній край був занурений у рідину на 1/2L. Експериментальне дослідження проводилось при $H_1=0,5$. Встановлено, що при збудженні коливань в резонансних режимах в оболонці №1 оболонки №2 і №3 виконують обертальні рухи навколо власної вісі. Слід відзначити, що обертальні рухи оболонки №2 відбувались в межах однієї півхвилі. Оскільки оболонка №2 в резонансному режимі вказаної системи самовстановлювалась так, що на мінімальній власній частоті коливань її півхвилі розміщувались симетрично з півхвилями оболонки №1. Результати досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Вплив власних частот коливань оболонки №1 на швидкість обертання оболонок №2 і №3

Номери оболонок	f_e , Гц	γ , рад/с	Напрямок поворотів
2	15	0,078	β
	71	0,157	α
3	15	0,078	β
	71	0,157	α

В табл. 2 введені такі позначення: γ – позначені кути поворотів оболонок №2 і №3 відносно оболонки №1, літерою α – напрямком обертання оболонки №2 або оболонки №3 за годинниковою стрілкою (якщо дивитись на них зверху), β – напрямком рухів оболонок проти годинникової стрілки.

Далі, до верхнього вільного краю конічної оболонки приєднувався вантаж масою 30 г. Відзначимо, що диск в який запаяна оболонка №1, був розміщений на станині з ухилом 3° . Подібні перекося мають місце і в геодинамічних системах, наприклад, через нерівномірність Місячно – Сонячного тяжіння на різних широтах та інших сил. При проведенні дослідів вантаж був встановлений на 90° зліва від точки приєднання вібратора до оболонки. Встановлено, що на частоті 11,5 Гц оболонка №2 оберталась за годинниковою або проти годинникової стрілки з середньою швидкістю $\gamma_{cp}=1,063$ рад/с. Одержано відношення $f_{min}/\gamma_{cp}=10,81$. Таке відношення для Землі $f_{min}/\gamma_{cp}=4,36$. У даній роботі одержано параметр подібності тонких оболонок обертання і земної кори, оскільки їх відношення мінімальної власної частоти коливань до швидкості обертання практично одного порядку.

В даній статті за допомогою розробленої установки промодельована синхронізація коливань динамічної системи, яка складається з твердої оболонки верхньої мантиї, астеносфери і літосфери. На погляд автора, тверді оболонки Землі змінюють швидкість обертання завдяки зміні рівня інтенсивності коливань, що збуджуються в надрах Землі та на її поверхні під час їх деформацій, які супроводжуються землетрусами (при місцевій або загальній втраті стійкості твердих оболонок Землі). Оскільки амплітуди коливань твердих оболонок Землі постійно змінюються, то постійно змінюється й швидкість обертання твердих оболонок Землі. Встано-

влено, що при зміні частот коливань оболонки №1 поблизу резонансного піка оболонка №2 обертається за годинниковою, або проти годинникової стрілки, що свідчить про те, що напрямок поворотів залежить від нелінійності коливань в резонансному режимі. Аналогічно діють імпульси, які посилюються твердими оболонками Землі, в яких збуджуються коливання, попадають на передній або на задній фронті півхвилі їх коливань (або відбитих на їх поверхні форм коливань), що призводить до збільшення або до зменшення швидкості обертання твердих оболонок Землі. На погляд автора, аналогічний механізм діє і при поворотах літосферних плит (імпульси діють на фронті півхвилі як вітер або вода в водяних чи вітряних млинах). З аналізу числених сейсмограм, наприклад, в роботі [4] встановлено, що на амплітудно – частотних характеристиках, одержаних під час сильних землетрусів, спостерігаються нелінійні коливання земної поверхні.

Експериментальне моделювання форм втрати стійкості земної кори при її комбінованому навантаженні. Для експериментального дослідження використовувалась замкнута циліндрична оболонка довжиною $L=50$ см радіусом $R=14$ см і товщиною $h=0,03$ см. Оболонка виготовлена за допомогою точкового зварювання з листового прокату титанового сплаву ОТ – 4 ($E=1,1 \cdot 10^{11}$ Н/м², $\nu=0,34$).

Результати визначення власних частот і форм коливань оболонки. Власні частоти і форми коливань розглянутої оболонки визначались резонансним методом. Збудження коливань оболонки виконувалось за допомогою генератора ГЗ-110. Коливання оболонки збуджувались за допомогою котушки масою 5 г. Котушка прикріплювалась до оболонки в її середньому перетині. Мінімальна власна частота коливань оболонки $f_{min}^e=270$ Гц. Форма коливань оболонки в окружному напрямі визначалась шляхом вимірювань амплітуд коливань оболонки в її середньому перетині в двадцяти точках. Вимірювання амплітуд коливань проводились за допомогою безконтактного віброперетворювача і блоку ВВВ-302. Аналогічно вимірювались і форми коливань в меридіональному напрямі. В меридіональному напрямі одержана одна півхвиля ($m=1$). Форма коливань оболонки в окружному напрямі на мінімальній власній частоті наведена на рис. 3. Стрілкою показана точка кріплення котушки вібратора.

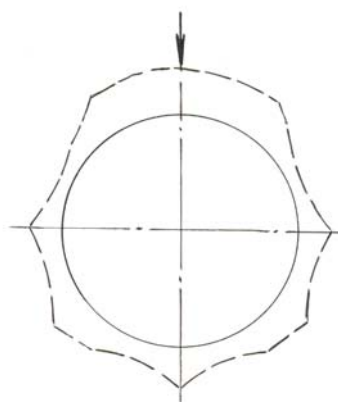


Рис. 3. Форма коливань оболонки в окружному напрямі

Установка для випробувань оболонки на стійкість при вісьовому стисненні і результати визначення критичного напруження. Випробування проводились на стандартній двохтонній випробувальній машині SHIMADZU (виробництво Японія, рік виготовлення

1950). Оболонка встановлювалась на горизонтальний стіл установки. Края оболонки були залиті розплавленим воском. Таке закріплення країв оболонки забезпечувало їх жорстке защемлення. Навантаження країв оболонки вісьовим стисненням виконувалось плавно до загальної втрати стійкості. Місцева і загальна втрата стійкості супроводжувалась хлопками. Місцева втрата стійкості супроводжувалась появою декількох вм'ятин, які з ростом навантаження збільшувались; при цьому з'являлись також нові вм'ятини. Місцева втрата стійкості спостерігалась при навантаженні, яке приблизно дорівнювало $0,89 P_{кр}$ ($P_{кр}$ – навантаження, при якому відбулась загальна втрата стійкості). Навантаження оболонки припинялось після того, як починалось різке падіння навантаження, яке сприймала оболонка. Критичне навантаження прийняло значення 1815 кг. Критичне напруження $\sigma = 6,88 \cdot 10^7$ Па. Форма втрати стійкості оболонки після її загальної втрати стійкості наведена на рис. 4 (вигляд внутрішньої порожнини оболонки).



Рис. 4. Форма втрати стійкості оболонки після зняття навантаження

Аналіз одержаних результатів. Порівняння форм втрати стійкості оболонки одержаних на її поверхні після зняття навантаження (рис. 4) з формами коливань,

одержаних на мінімальній власній частоті коливань (рис. 3) свідчить про те, що вони подібні. Виконаний гармонійний аналіз форм втрати стійкості земної кори, які відбиті на її поверхні з використанням атласів океанів і атласу Антарктиди і методики, наведеної в роботі [1]. Встановлено, що в Південній і Північній півкулях чітко видно, що число хвиль втрати стійкості в широтному напрямі $n=3$. Винятком є те, що число хвиль втрати стійкості земної кори поблизу екватора $n=4$. Таке відхилення форм коливань відбулось тому, що поблизу екватора діють найбільші вісьові і крутильні навантаження. В меридіональному напрямі після проведеного гармонійного аналізу встановлено, що $m=2$ (m – число півхвиль). Загальна втрата стійкості літосфери один раз відбулась при великих навантаженнях, що призвело її до розколу на окремі літосферні плити. Внаслідок синхронізації коливань геодинамічних систем відбулись повороти літосферних плит. Повороти твердих оболонок Землі і літосферних плит продовжуються постійно. В роботі [5] одержані результати експериментального моделювання довантаження твердих оболонок Землі вісьовими силами, які виникають від дії динамічних явищ в надрах і на поверхні Землі. Відзначимо, що раніше невраховане додаткове динамічне навантаження призводить до накопичення напружень (деформацій) і до місцевої або до загальної втрати стійкості твердих оболонок Землі. Оскільки картина хвилеутворення на поверхнях оболонок і земної кори при їхньому вісьовому стисненні приблизно однакова, то цей факт може бути використаний як критерій їх подібності.

1. Иорш Ю.И. Виброметрия. – М., 1963. 2. Белоусов В.В. Основы геотектоники. – М., 1989. 3. Белкин Ф.П. Тектоничні процеси в земній корі під гравітаційним впливом Місяця та Сонця. – К., 1962. 4. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л., 1976. 5. Сивак В.В. Экспериментальное моделирование динамических явлений, возникающих в твердых оболочках Земли при их осевом сжатии / Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009, №7. – С.55 – 57.

Надійшла до редколегії 15.11.09

ГЕОІНФОРМАТИКА

УДК 550.3 (519.21)

З. Вижва, канд. фіз.-мат. наук, В. Демидов, канд. фіз.-мат. наук, А. Вижва, студ.

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ ПОЛІВ НА ПЛОЩИНІ СПЛАЙНОВИМИ АПРОКСИМАЦІЯМИ НА ПРИКЛАДІ ДАНИХ АЕРОМАГНІТОМЕТРІЇ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол., проф. М.Н. Жуковим)

Для вирішення проблем кондиційності карт, доповнення даними для досягнення необхідної точності і інших проблем подібного роду в геофізичних задачах пропонується застосовувати методи статистичного моделювання реалізацій випадкових процесів та багатовимірних випадкових функцій (випадкових полів). При аналізі даних по профілях їх розділено на детерміновану та випадкову складові. Детерміновану складову даних пропонується наближати кубічними сплайнами, стаціонарну випадкову складову – моделювати на основі спектральних розкладів випадкових полів. Модельний приклад – дані аеромагнітної зйомки в двовірному варіанті.

It is proposed to apply methods of statistical simulation of realizations of random processes and multi-dimensional random functions (random fields), to solve the problems of conditional maps, adding of data to achieve the necessary precision, and other such problems in geophysics. It is divided into deterministic and random components for data analysis. The deterministic component is proposed to approximate by cubic splines and the stationary random component is proposed to modeling on the basis of spectral expansions of random fields. Model example – aeromagnetic data two dimension field.

Вступ. В геофізиці більшість результатів досліджень подається у цифровій формі, точність якої залежить від різних випадкових впливів (в тому числі від похибки вимірювання апаратури). При цьому виникає проблема кондиційності карт у випадку, коли дані неможливо отримати із заданою детальною в деяких ділянках. В таких ситуаціях для доповнення даними, яких не вистачає, рекомендується застосовувати мето-

ди статистичного моделювання реалізацій випадкових процесів та багатовимірних випадкових функцій (випадкових полів) [1-4]. Ці методи розробляються протягом більше 20 років на механіко-математичному факультеті КНУ імені Тараса Шевченка і були запропоновані, як окремий напрямок для досліджень і як засоби для прикладних аспектів, професором, член-кореспондентом НАН України Ядренком М.Й.