**II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА****Анахов П. В.***Державний університет  
телекомунікацій***Anakhov P. V.***State University of  
Telecommunications***УДК 550.348****ІНІЦІЮВАННЯ СЛАБКОЇ  
СЕЙСМІЧНОСТІ МЕТОДОМ  
ПРИПЛИВНО-СЕЙШЕВИХ  
ВІБРАЦІЙ**

*Досліджено припливно-сейшеві деформації дна водойми в процесі зміни рівня поверхні води. Пропонується технологія ініціювання слабкої сейсмічності, яка використовує резонансні довгоперіодні вібрації, для розвантаження тектонічного напруження.*

**Ключові слова:** *довгоперіодні вібрації, частотна модуляція сейшів, припливно-сейшевий резонанс, депресійна зона водосховища.*

**Вступ.** Треба визнати, що стихійні лиха у багатьох випадках невідворотні. Отже, практичною задачею стає оптимізація їх негативних наслідків. Зменшення сейсмічної небезпеки передбачає ініціювання слабкої сейсмічності штучними джерелами з метою розвантаження тектонічного напруження.

Перспективним способом розвантаження є збудження слабких землетрусів при наповненні водосховищ. Припущення щодо пов'язаності Кумдагського землетрусу із зміною рівня Каспійського моря виявило ефективність резонансних припливно-сейшевих деформацій дна.

Використання таких знань дозволить, по-перше, оцінювати можливі наслідки змін рівня поверхні води, по-друге, вправно використовувати їх.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Модель вогнища для мілкофокусних, найбільш руйнівних, землетрусів асоціюється з порушенням суцільності середовища і утворенням мікротріщин. Вони зароджуються під впливом значних тектонічних напружень в гірських породах і швидко переростають у розломи [1].

Наприклад, Кумдагський землетрус в Туркменістані 14 березня 1983 року супроводжувався розломом довжиною більше 20 км, який вийшов на поверхню [2].

Для розвантаження тектонічного напруження пропонується управління режимом зміщень у фрагментах сейсмічно активного тектонічного розлому. Зміщення крил обраного фрагменту викликається шляхом подразнення його наступними методами: насичуванням рідиною; ударно-вибуховою або вібраційною

дією; опромінюванням електромагнітними імпульсами [1].

У минулому сторіччі була виявлена можливість виникнення новітньої, або підвищення наявної сейсмічної активності внаслідок створення водойм – ефект збудження землетрусів наповненням водосховищ. Очікується, що подразнення розлому виконується внаслідок опускання земної поверхні за рахунок навантаження від стовпу води, насичування підземними водами за рахунок створеного підпору, вібраційної дії. Причому, вібрації складає спектр процесів – коливання тіла греблі; вібрації від агрегатів електростанцій і потужних насосів; вібрації від падаючої води; утворення на прибережжі та у відкритому морі штормових мікросейсмічних зон; варіації рівня води (сейшеві, припливно-відпливні, метеорологічні і сезонні).

На думку ак. І. Курчатова, в гідрологічному житті всякого водного басейну можна знайти елементи того ж періоду, і, очевидно, ці елементи завжди можуть служити збуджуючою силою для басейну, причому особливої важливості набуває збіг періоду вільних коливань і зовнішніх сил [3].

Очевидно, що у випадках збігу періоду власних коливань басейну із періодом припливу амплітуда коливань істотно зростатиме.

**Метою** статті визначено підвищення ефективності розвантаження тектонічного напруження в депресійній зоні водосховища за рахунок використання ефекту збігу періоду власних коливань басейну із періодом припливу.



**Основні результати дослідження.** За припущенням А. Нурмагамбетова Кумдагський землетрус може бути пов'язаний зі зміною рівня Каспійського моря [4].

В табл. 1 представлено дані щодо змін рівня поверхні води  $H_{AMSL}$  Каспійського моря у 20-му сторіччі щодо середнього рівня світового океану.

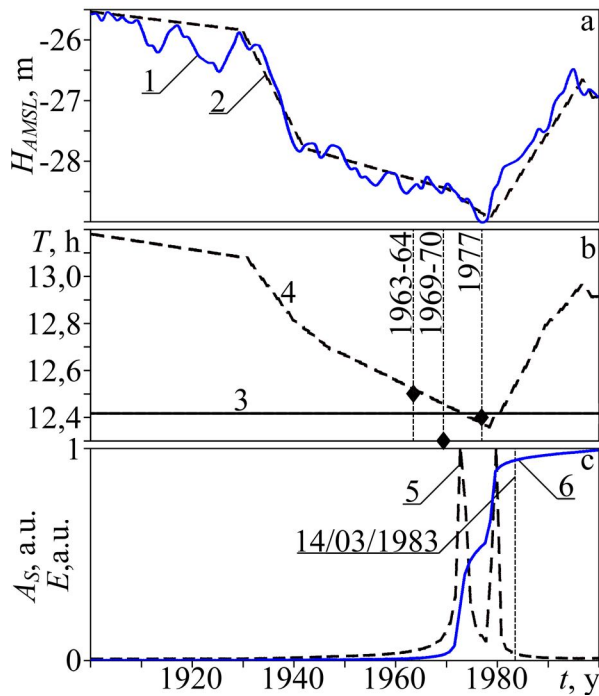
Таблиця 1

**Зміни рівня Каспійського моря у 20-му сторіччі [5]**

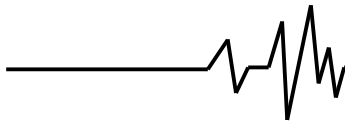
Період і його тривалість, роки	Середньорічні зміни рівня за період, м	Відмітка рівня, м
1900-1929 (30)	-0,31	
1930-1941 (12)	-1,96	
1942-1969 (28)	-0,68	
1970-1977 (8)	-0,49	
1978-1995 (18)	2,35	
1995 (1)		-26,66
1996 (1)		-26,80
1997 (1)		-26,95
1998 (1)		-26,94
1999 (1)		-27,00

На рис. 1а показано рівні поверхні води  $H_{AMSL}$ : виміряний [6] (крива 1); реконструкція по даним [5] (крива 2).

На рис. 1б (крива 3) показано період коливаний місячних припливних хвиль  $T_T \approx const = 12$  год. 25,2 хв.



**Рис. 1. Залежність деформацій дна Каспійського моря від рівня води: а – виміряний (1) і розрахований (2) рівні; б – періоди припливних (3) і сейшевих (4) вібрацій; с – амплітуда резонансних припливно-сейшевих вібрацій (5) і інтеграл сумарних пошкоджень (6)**



Зазначено, що величина припливу  $A_T$  в т.з. безприпливному Каспійському морі складає не більше 2-7 см [7]. За спостереженнями А. Спідченко, середня амплітуда припливу для ряду пунктів в червні 1970 року становила 2,1-5,9 см [8].

Водоймам властиві коливання стоячих хвиль (сейшів), які зумовлюють розгойдування

всієї водної маси. Опускаючись вниз, синфазні коливання води збуджують на дні мікросейсмічні коливання [1].

В табл. 2 представлені дані щодо спостережених в Каспійському морі сейшевих коливань. Періоди спостережених в різні роки поздовжніх одноузлових сейшів відмічені на рис. 1b ромбами.

Таблиця 2

Поздовжні одноузлові сейші Каспійського моря за спостереженнями

Період спостережень $t$ , роки	Період хвилі $T_S$ , год.	Амплітуда хвилі $A_S$ , м	Джерело
1963-1964	12,5	Не вказана	[9]
1969-70	12,3	0,7	[8]
1977	12,4	0,20-0,25	[10]

Період сейшів збігається з періодом власних коливань водного басейну і модулюється функцією глибини –  $T(D)_S$ . Ефект частотної модуляції сейшів можна пояснити за

допомогою узагальненої формули Меріана для прямокутного басейну з горизонтальним дном [1]:

$$T(t)_{ab} = \frac{2}{\sqrt{g \times D(t)}} \sqrt{\left(\frac{L(t)}{a}\right)^2 + \left(\frac{W(t)}{b}\right)^2}, \quad L(t) = const, \quad W(t) = const, \quad (1)$$

де  $T(t)$  – закон зміни періоду сейшевих коливань;  $T$  – характерний період;  $t$  – час;  $a=1;2;\dots;a$ ,  $b=1;2;\dots;b$  – кількість вузлів поздовжньої і поперечної сейшів;  $D$ ,  $L$ ,  $W$ ,  $D(t)$ ,  $L(t)$ ,  $W(t)$  – характерні глибина, довжина, ширина басейну і закони їх зміни.

Розраховані по морфометричним даним Каспійського моря періоди поздовжніх

одноузлових сейшів [11] (площа  $S$  і об'єм води  $V$  при різних відмітках рівня, довжина  $L=1\ 030$  км, представлена найбільшою протяжністю з півночі на південь – по меридіану  $50^\circ 00'$  сх.д.), показані на рис. 1b, крива 4.

Умовою збудження водної маси є місячна припливна хвиля з періодом  $T_T$ , близьким до періоду  $T_S$  сейшевих коливань [1]:

$$A_S = \frac{A_T}{\left| (2\pi / T_S)^2 - (2\pi / T_T)^2 \right|}, \quad nT_S \approx T_T, \quad n = (1; 2; \dots; n) \vee \left( 1; \frac{1}{2}; \dots; \frac{1}{n} \right), \quad (2)$$

де  $n$  – коефіцієнт;  $\vee$  – знак диз'юнкції.

На рис. 1с (крива 5) показано результати розрахунків зміни амплітуди, в умовних одиницях, поздовжніх одноузлових сейшів Каспійського моря.

Стовп води створює пропорційне рівню води напруження в земній корі

$$\sigma = P / S, \quad (3)$$

де  $P = \rho g V$  – навантаження;  $\rho \approx 10^3$  кг/м<sup>3</sup> – густина води;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння.

Циклічні зміни рівня при сейшевих коливаннях породжують довгоперіодні вібрації

дна. Це позначається на розташованому в депресійній зоні водойми сейсмоактивному тектонічному розломі, викликаючи втому [12]:

$$Fat = \sigma / T_S, \quad (4)$$

Зміщення у фрагменті розлому в процесі втомного впливу і число таких впливів визначає значення інтеграла сумарного пошкодження [12]:

$$E(N) = \int_0^N \frac{dN}{N_f [\Delta \varepsilon(N)]}, \quad (5)$$



де  $N$  – кількість циклів впливу;  $N_f$  – кількість циклів з амплітудою деформації  $\Delta\varepsilon$ , які передують руйнуванню. Згідно гіпотези Пальмгрена-Майнера, при  $E(N_f) = 1$  настає втомне руйнування.

На рис. 1с (крива б) показано результати розрахунків інтеграла сумарних пошкоджень, де 0 – накопичене станом на 1900 рік значення; 1 – втома, яка могла накопичитись, якби не землетрус 14/03/1983 магнітудою 5,7. Очевидне

співпадіння сейсмічної події (на асейсмічній території, що відноситься до області можливих транзитних 5-бальних струсів [4]) із швидким зростанням  $E$ .

Ідея використання ефекту резонансу припливно-сейшевих вібрацій для ініціювання слабкої сейсмічності захищена Патентом України [13]. Умова збудження водної маси (2), з урахуванням частотної модуляції сейшів (1), перепишеться наступним чином:

$$A_S = \frac{A_T}{\left| \left( 2\pi / T(D)_S \right)^2 - \left( 2\pi / T_T \right)^2 \right|}, \quad nT(D)_S \approx T_T, \quad (6)$$

Водопрпускні гідротехнічні споруди водосховищ при наповненні/скиданні води імітують природний приплив/відплив. Використання технічної реалізації припливу – пропуску води (Release) – дозволяє створити незалежну або малозалежну від обумовлених зовнішніми впливами варіацій рівня води водну обстановку водосховища. Амплітуда сейшів у цьому випадку залежатиме від амплітуди і періода пропуску води:

$$A_S = \frac{A_R}{\left| \left( 2\pi / T(D)_S \right)^2 - \left( 2\pi / T_R \right)^2 \right|}. \quad (7)$$

Можливі реалізації пропуску води в залежності від внутрішніх умов представлені в табл. 3.

Таблиця 3

**Реалізації резонансогенного пропуску води в залежності від внутрішніх умов**

Умова	Пояснення	Джерело
$T_R = const$	Амплітуду сейшів обумовлює функція зміни рівня води	[14]
$T_S = const$	Амплітуду сейшів обумовлює функція пропуску води	[15]

**Висновки.** Залежність руйнівних припливно-сейшевих деформацій дна Каспійського моря від рівня води підтверджує припущення А. Нурмагамбетова [4] щодо можливої пов'язаності Кумдагського землетрусу із зміною рівня Каспійського моря.

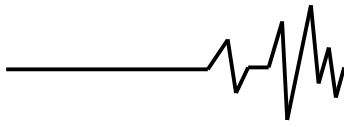
Виявлений ефект припливно-сейшевого резонансу пропонується використовувати для розвантаження тектонічного напруження в депресійній зоні водосховищ.

**Рекомендації, перспективи подальшого розвитку.** Відомо, що отрута у малій дозі є ліками, проте ліки у великій дозі стають отрутою. Подразнення розлому повинне супроводжуватись контролем параметрів відгуку і коригуванням параметрів впливу в разі потреби. Розвантаження тектонічного напруження має на увазі прогнозування сили викликаної сейсмічної небезпеки. Тому більш

важливою задачею для подальших досліджень у цьому напрямку є короткостроковий прогноз землетрусу.

**Список використаних джерел**

1. Анахов П. В. Використання мікросейсмогенних явищ для розвантаження тектонічних напружень // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36, №5. – С. 128-142.
2. Арефьев С. С. Эпицентральные наблюдения и геодинамические модели очагов сильных землетрясений: автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра физ.-мат. наук: спец. 25.00.10 "Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых" / Сергей Сергеевич Арефьев; Объединенный институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. – Москва, 2001. – 57 с.



3. Курчатов И. В. Сейши в Черном и Азовском морях / И. В. Курчатов. Избранные труды. – Т. 1. – М.: Наука, 1982. – С. 382-391.

4. Нурмагамбетов А. О сейсмичности Арало-Каспийского региона / А. Нурмагамбетов / Геология регионов Каспийского и Аральского морей: МГК-32 / ред. Г. Р. Бекжанов. – Алматы: КазГЕО, 2004. – С.443-450.

5. Михайлов В. Н. Загадки Каспийского моря / В. Н. Михайлов // Соросовский образовательный журнал. – 2000.– Т. 6, №4. – С. 63-70.

6. Яицкая Н. А. Термохалинный режим Каспийского моря при изменении уровня: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геогр. наук: спец. 25.00.28 "Океанология" / Наталья Александровна Яицкая; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. – Мурманск, 2012. – 28 с.

7. Зонн Н. С. Каспийская энциклопедия / Под ред. А. Н. Косарева. – М.: Международные отношения, 2004. – 464 с.

8. Косарев А. Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей / А. Н. Косарев. – М.: изд-во Московского университета, 1975. – 272 с.

9. Герман В. Х. Спектральный анализ колебаний уровня Азовского, Черного и Каспийского морей в диапазоне частот от одного цикла за несколько часов до одного цикла за несколько суток / В. Х. Герман // Труды Государственного океанографического института. Вып. 103. – М.: Гидрометеиздат, 1970. – С. 52-73.

10. Иванов В. А. Сейши и внутренние волны / В. А. Иванов / Каспийское море: гидрология и гидрохимия. – М.: Наука, 1986. – С. 146-150.

11. Николаева Р. В. Морфометрические характеристики / Р. В. Николаева / Каспийское море: гидрология и гидрохимия. – М.: Наука, 1986. – С. 6-13.

12. Островский А. А. Возможная причина сезонной периодичности некоторых Калифорнийских землетрясений / А. А. Островский // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 313, №1. – С. 83-86.

13. Пат. 83039 Україна, МПК G01V 1/02. Спосіб управління режимом зміщень у фрагментах сейсмоактивних розривів депресійної зони водосховища / Анахов П. В. – №u201302278; заявл. 25.02.2013; опубл. 27.08.2013; Бюл. №16.

14. Пат. 84977 Україна, МПК G01V 1/02. Спосіб управління режимом зміщень у фрагментах сейсмоактивних розломів депресійної зони водосховища / Анахов П. В. –

№u201304585; заявл. 12.04.2013; опубл. 11.11.2013; Бюл. №21.

15. Пат. 84978 Україна, МПК G01V 1/02. Спосіб стимулювання зміщень у фрагментах сейсмоактивних розломів депресійної зони водосховища / Анахов П. В. – №u201304586; заявл. 12.04.2013; опубл. 11.11.2013; Бюл. №21.

#### Список джерел в транслітерації

1. Anahov P. V. Vykorystannja mikrosjeismogjennyh javyssh dlja rozvantazhennja tektonichnyh napruzen' // Geofizicheskij zhurnal. – 2014. – Т. 36, №5. – С. 128-142.

2. Aref'ev S. S. Jepicentral'nye nabljudenija i geodinamicheskie modeli ochagov sil'nyh zemletrjasenij: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni d-ra fiz.-mat. nauk: spec. 25.00.10 "Geofizika, geofizicheskie metody poiskov poleznyh iskopaemyh" / Sergej Sergeevich Aref'ev; Ob#edinennyj institut fiziki Zemli im. O. Ju. Shmidta RAN. – Moskva, 2001. – 57 s.

3. Kurchatov I. V. Sejshi v Chernom i Azovskom morjah / I. V. Kurchatov. Izbrannye trudy. – Т. 1. – М.: Nauka, 1982. – С. 382-391.

4. Nurmagamбетov A. O sejsmichnosti Aralo-Kaspijskogo regiona / A. Nurmagamбетov / Geologija regionov Kaspijskogo i Aral'skogo morej: MGK-32 / red. G. R. Bekzhanov. – Almaty: KazGEO, 2004. – С.443-450.

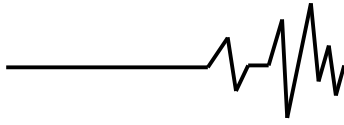
5. Mihajlov V. N. Zagadki Kaspijskogo morja / V. N. Mihajlov // Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. – 2000.– Т. 6, №4. – С. 63-70.

6. Jaickaja N. A. Termohalinnij rezhim Kaspijskogo morja pri izmenenii urovnja: avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni kand. geogr. nauk: spec. 25.00.28 "Okeanologija" / Natal'ja Aleksandrovna Jaickaja; Moskovskij gosudarstvennyj universitet im. M. V. Lomonosova. – Murmansk, 2012. – 28 s.

7. Zonn N. S. Kaspijskaja jenciklopedija / Pod red. A. N. Kosareva. – М.: Mezhdunarodnye otnoshenija, 2004. – 464 s.

8. Kosarev A. N. Hidrologija Kaspijskogo i Aral'skogo morej / A. N. Kosarev. – М.: izd-vo Moskovskogo universiteta, 1975. – 272 s.

9. German V. H. Spektral'nyj analiz kolebanij urovnja Azovskogo, Chernogo i Kaspijskogo morej v diapazone chastot ot odnogo cikla za neskol'ko chasov do odnogo cikla za neskol'ko sutok / V. H. German // Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta. Vyp. 103. – М.: Gidrometeoizdat, 1970. – С. 52-73.



10. Ivanov V. A. Sejshi i vnutrennie volny / V. A. Ivanov / Kaspijskoe more: gidrologija i gidrohimiya. – M.: Nauka, 1986. – S. 146-150.

11. Nikolaeva R. V. Morfometricheskie harakteristiki / R. V. Nikolaeva / Kaspijskoe more: gidrologija i gidrohimiya. – M.: Nauka, 1986. – S. 6-13.

12. Ostrovskij A. A. Vozmozhnaja prichina sezonnoj periodichnosti nekotoryh Kalifornijskih zemletrjasenij / A. A. Ostrovskij // Doklady AN SSSR. – 1990. – T. 313, №1. – S. 83-86.

13. Pat. 83039 Ukraїna, MPK G01V 1/02. Sposib upravlinnja rjezhymom zmishhen' u fragmientah sjejsmoaktyvnyh rozryviv djeprjesijnoji zony vodoshovyshha / Anahov P. V. – №u201302278; zajavl. 25.02.2013; opubl. 27.08.2013; Bjul. №16.

14. Pat. 84977 Ukraїna, MPK G01V 1/02. Sposib upravlinnja rjezhymom zmishhjen u fragmientah sjejsmoaktyvnyh rozlomiv djeprjesijnoji zony vodoshovyshha / Anahov P. V. – №u201304585; zajavl. 12.04.2013; opubl. 11.11.2013; Bjul. №21.

15. Pat. 84978 Ukraїna, MPK G01V 1/02. Sposib stymuljuvannja zmishhjen' u fragmientah sjejsmoaktyvnyh rozlomiv djeprjesijnoji zony vodoshovyshha / Anahov P. V. – №u201304586; zajavl. 12.04.2013; opubl. 11.11.2013; Bjul. №21.

### ИНИЦИИРОВАНИЕ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ МЕТОДОМ ПРИЛИВНО- СЕЙШЕВЫХ ВИБРАЦИЙ

**Аннотація.** *Исследованы приливно-сейшевые деформации дна водоема в процессе изменения уровня поверхности воды. Предлагается технология инициирования слабой сейсмичности, которая использует резонансные длиннопериодные вибрации, для разгрузки тектонического напряжения.*

**Ключевые слова:** *длиннопериодные вибрации, частотная модуляция сейш, приливно-сейшевый резонанс, депрессивная зона водохранилища.*

### TRIGGERING OF WEAK SEISMICITY BY METHOD OF TIDAL-SEICHE VIBRATIONS

**Annotation.** *We investigate tidal-seiche deformation of the seabed during changes of the level of the water. It is offered technology of triggering of weak seismicity, which use resonance long-period vibrations, for releasing of tectonic stresses.*

**Key words:** *long-period vibrations, frequency modulation of seiches, tidal-seiche resonance, reservoir's depressing zone.*