



Рис. 15. Вантові мости в Україні

Отже, вантові мости відіграють важливу роль у забезпеченні зв'язку між різними районами, розвитку транспортної інфраструктури та економічному зростанні. Вони є символами інженерної майстерності та архітектурної краси.

Література:

1. <https://sviydim.media/articles/rebuilt/yak-v-ukrayiny-vidnovlyuyut-mosty-zrujnovani-vijnoyu/>
2. <https://studfile.net/preview/7516846/page:27/>
3. <https://metallservice.com.ua/uk/vantovi-konstruktsiyi.html>

Науковий консультант: д.т.н., проф. Воропай О. В., зав. каф. деталей машин та теорії механізмів і машин.

Ткаченко А, студентка групи ДЕ-16т-23,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## МЕХАНІЗМИ ВПЛИВУ ЗМІН У НАДХОДЖЕННІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА КЛІМАТИЧНІ СИСТЕМИ

Навіть короткий опис моделей механізму впливу змін у надходженні сонячної енергії на кліматичні системи виходить за межі курсу кліматології, тому розглянемо тільки окремі приклади на тему про те, яку інформацію і яке розуміння може дати якісний аналіз простих математичних моделей клімату. Зосередимося на проблемах оледеніння у четвертичному періоді і на механізмах, які дозволяють кліматичній системі посилювати слабкі змінення у надходженні сонячної енергії.

Розглянемо випадок, коли сонячне випромінювання, що надходить на Землю, не врівноважується інфрачервоним випромінюванням, що повертається у космосічний простір. Температура випромінювання Землі описується рівнянням теплового балансу

$$C \frac{dT}{dt} = I_0(1 - A(T)) - a\sigma T^4,$$

де  $C$  - теплоємність системи,  $I_0$  - сонячна стала,  $A(T)$  - планетарне альbedo землі,  $a$  індекс сірості,  $\sigma$  - стала Стефана-Больцмана.

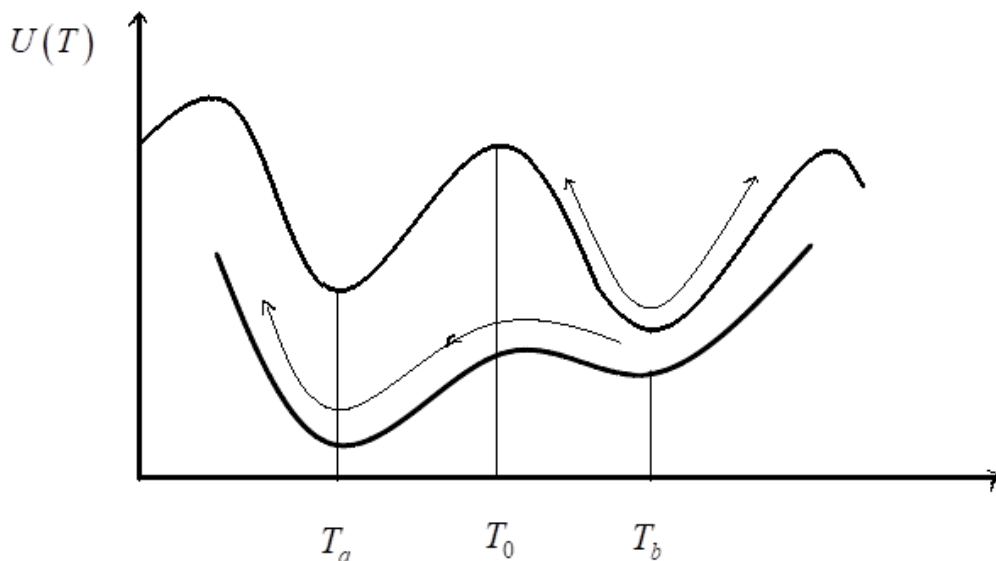
Якщо провести апроксимацію планетарного альbedo поліномом третього порядку, то система може мати до трьох стаціонарних станів. Два з них,  $T_b$  і  $T_a$ , є стійкими, вони відповідають сучасному клімату і холодному клімату, який нагадує глобальне оледеніння. Третій стан,  $T_0$ , нестійкий - він розділяє стійкі режими.

Як і інші фізичні системи, кліматична система безперервно знаходиться під дією статистичних флуктуацій (випадкових відхилень) відповідних потоків  $F(T)$ . Тому попереднє рівняння енергетичного балансу стає стохастичним диференціальним рівнянням вигляду

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{\partial U(T)}{\partial T} + F(t),$$

де  $U(T)$  - так званий кліматичний потенціал, який визначається за формулою

$$U(T) = -\frac{1}{C} \int dT [I_0(1 - A(T)) - a\sigma T^4].$$



Такий розширений опис вносить новий важливий елемент – між різними станами тепер здійснюється зв'язок за допомогою флуктуацій. Іншими словами, який би не був початковий стан системи, рано чи пізно вона досягне будь-якого іншого стану. Масштаб часу такого явища визначається двома факторами-висотою потенціального бар'єра

$$\Delta U_{a,b} = U(T_0) - U(T_{a,b}),$$

й інтенсивністю флуктуацій, яка зазвичай характеризується дисперсією  $q^2$  функції  $F(t)$ . Оцінка цього часу за порядком величини дає

$$\tau_{a,b} = \exp \frac{\Delta U_{a,b}}{q^2},$$

де  $\tau_{a,b}$  - середній час переходу зі стану  $T_a$  у стан  $T_b$  через нестійкий стан  $T_0$ . Якщо ці флуктуації достатньо малі, то, очевидно, при будь-яких поміркованих висотах потенціального бар'єра цей час буде дуже великим. Одержані таким чином значення мають порядок  $10^4 - 10^5$  років, що входить до діапазону характерного часу обмерзання у четвертичному періоді. Але стверджувати, що рівняння дає пояснення льодовиковим циклам, неможливо, тому що перехід між двома стійкими кліматичними станами залишається процесом випадковим, який не має чіткої періодичності. Як раз у цьому вплив слабких зовнішніх силових факторів стає вирішальним.

Додамо до сонячної постійної  $I_0$  малий член у вигляді  $I_0 \varepsilon \sin \omega t$ , період якого збігається з періодом коливань середньорічної величини поглиненої Землею радіації. Якщо цей період значно менший перехідного часу  $\tau_{a,b}$ , то зовнішній фактор практично не впливає на динаміку системи. Але якщо цей період близький до  $\tau_{a,b}$ , то відклик системи на зовнішній вплив дуже посилюється. По суті, зовнішній вплив призводить до зниження потенційного бар'єру і тим саме до полегшення переходу між кліматичними станами. Більше того, внаслідок періодичного характеру такого впливу система змушена виконувати ритмічні переходи. Таким чином, виявляється якісний механізм виникнення льодовикових періодів, в якому важливу роль відіграють як внутрішні процеси, так і зовнішні фактори.

Природно, що, зважаючи на схематичність даної моделі, необхідна розробка більш докладного опису, який би мав додаткові ключові змінні. Особливо цікавий клас таких моделей утворюється при урахуванні взаємодії між середньою температурою поверхні і континентальним або морським льодом. Ці

моделі також дають періодичні рішення з періодом, який приблизно збігається з характерним часом наступу льодовиків.

Корисним також є порівняння зареєстрованих кліматичних змін з теорією динамічних систем. Аналіз змінень об'єму льоду на Землі за останні 800 000 років, які було одержано з ізотопних досліджень глибоководних осадових порід, вказує на те, що еволюція клімату за останій мільйон років може розглядатися як прояв детерміністичної динаміка, яка має хаотичний атрактор (притягуючу множину у просторі змінних) розмірністю більше трьох і менше чотирьох. Тобто у кліматичній системі повинні спостерігатися хаотичні коливання, які характеризуються високою чутливістю до початкових умов і суттєвою непередбачуваністю. Мінімальна розмірність простору, в якому може існувати згаданий атрактор, дорівнює чотирьом. Це означає, що мінімальна кількість змінних, необхідних для опису кліматичної динаміки, дорівнює чотирьом. Але конкретну природу цих змінних поки що встановити не вдається.

## Література

1. Біловол О.В., Метеорологія і кліматологія: Навчальний посібник, Харків: ХНАДУ, 2006. – 312 с.

*Науковий консультант: Біловол О.В., доц. Каф. Деталей машин та теорії механізмів і машин.*

Чернов Вячеслав Миколайович, студент гр. А-23-22  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ ГІДРАВЛІЧНОГО СТРУМЕНЯ**

Для гасіння зовнішніх пожеж часто використовуються вільні (незатоплені) гідравлічні струмені, які утворюються за допомогою насадок різної форми і діаметру. Питання розрахунку струменів розглянуто в літературі з гідравліки й протипожежного водопостачання. За напрямом дії розрізняються вертикальні, нахилені та горизонтальні струмені. У разі, коли суцільний водяний струмінь вилітає з насадки з деякою початковою швидкістю і рухається в повітряному просторі подібно до твердого тіла, кинутого під кутом до горизонту, його теоретична траєкторія буде параболою. Внаслідок дії на струмінь сили опору повітря дійсна траєкторія руху струменя відрізнятиметься від теоретичної. Вказана сила діє за дотичною до траєкторії в кожній точці і спрямована убік, протилежний до руху. Урахування цієї сили робиться введенням коефіцієнта опору повітря, який визначається експериментально. У роботі [1] детально розглянуто урахування сили опору повітря залежно від ступеня, у який підноситься швидкість в рівнянні руху струменя.