

УДК 539.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРИОДИЧЕСКОГО
НАГРУЖЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕОРИИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ
СИМОНЯН А.М., ПЕТРОСЯН Т.Л.**

Ключевые слова: ползучесть, гистерезис, малоцикловое нагружение
Key words: creep, hysteresis, scarcely cycle loading

Միմոնյան Ա.Մ., Պետրոսյան Տ.Լ.

**Ժառանգականության տեսության հիման վրա հիստերեզիսային էներգետիկ կորուստների
ուսումնասիրությունը կախված պարբերական բեռնավորման բնութագրիչներից**

Ուսումնասիրվում է հիստերեզիսային մարման գործակցի կախվածությունը պարբերական բեռնավորման պարամետրերից և ցիկլի համարից ժառանգականության գծային տեսության հիման վրա:

Simonyan A.M., Petrosjan T.L.

Investigation of hysteresis energy dissipation in dependence of characteristics of periodical loading on base of theory of heredity

The dependence of coefficient of energy dissipation on parameters of scarcely cycle loading is investigated on the base of the theory of heredity.

Исследуется зависимость коэффициента поглощения энергии от параметров малоциклового нагружения и от номера цикла согласно линейной теории наследственности.

Для проектирования конструкций, зачастую, целесообразно знание о демпфирующих свойствах материалов.

Во многих работах ([1-6] и др.) при рассмотрении рассеяния механической энергии и затухания собственных колебаний делается попытка найти связь между рассеянием энергии и параметрами структуры материала. В работе [7] показано, что явление рассеяния энергии протекает быстро и, следовательно, параметры нагружения существенно влияют на величину коэффициента поглощения. В работе [8] на основе данных о ползучести материала при использовании теории старения и теории наследственности построены петли гистерезиса в сравнении с экспериментальными данными при малоциклового ползучести, и на примере грунтов показано, что теория наследственности, в общем, может быть рекомендована для описания деформаций и поглощения энергии.

В настоящей работе дан анализ зависимости коэффициента поглощения от периода циклических нагружений, степени асимметрии цикла и от номера цикла для материала, деформирующегося согласно линейной теории наследственности.

Для описания деформаций при переменных напряжениях $\sigma(t)$, согласно теории наследственности [9,10], было использовано соотношение

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \int_0^t \sigma(\tau) [Cae^{-a(t-\tau)} + \nu] d\tau, \quad (1)$$

которое в условиях постоянного напряжения $\sigma(t) = a$ вырождается в аппроксимирующую формулу

$$\varepsilon(t) = a \left[\frac{1}{E} + C(1 - e^{-at}) + vt \right]. \quad (2)$$

Положим, что изменение $\sigma(t)$ имеет место по следующему закону:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \left[\sin(\omega t + \varphi_0) + \lambda \right], \quad (3)$$

где ω – циклическая частота, λ – постоянная, определяющая степень асимметрии циклического нагружения.

Для определения площади петли гистерезиса $\Delta W(t_n)$ используется формула [8]

$$\Delta W(t_n) = \int_{t_n}^{t_n+T} \sigma(t) \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial t} dt, \quad (4)$$

где $T = \frac{2\pi}{\omega}$ – период цикла, $t_n = Tn$ – номер цикла.

Для определения полной механической энергии $W(t_n)$, затраченной за один цикл деформирования, используем формулу [8]

$$W(t_n) = \int_{t_n}^{t_n+\frac{T}{2}} \sigma(t) \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial t} dt. \quad (5)$$

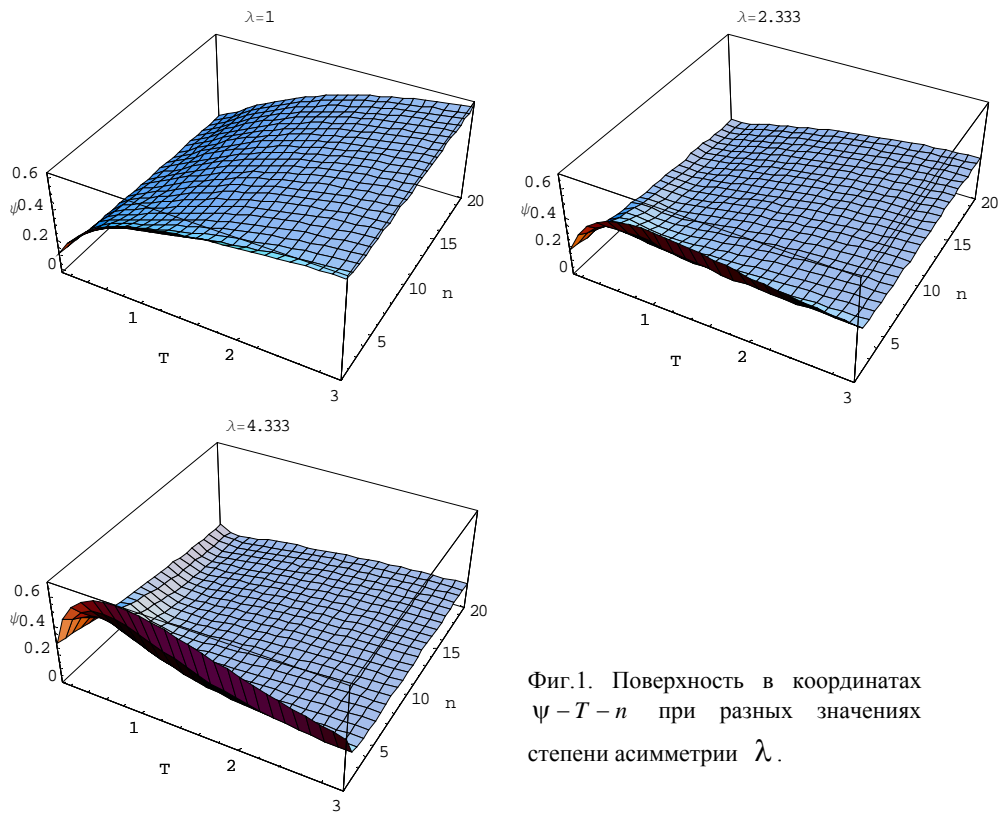
Коэффициент поглощения $\psi(n)$ определяется так [5]:

$$\psi(n) = \frac{\Delta W(t_n)}{W(t_n)}. \quad (6)$$

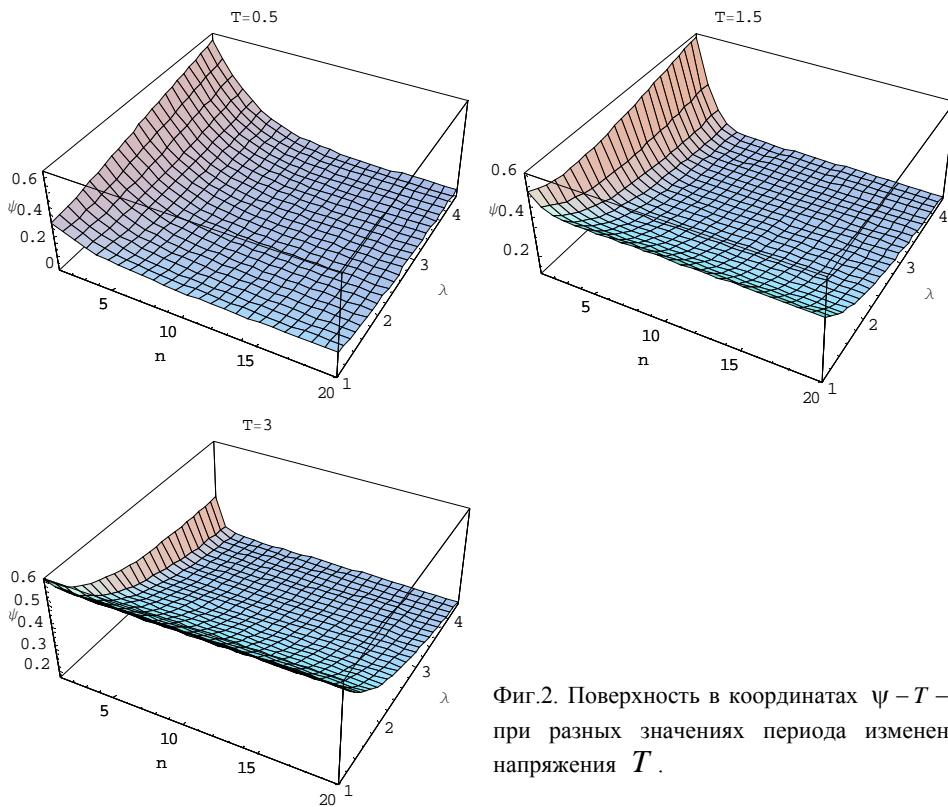
При использовании (1), (3) и (6) после ряда выкладок получим следующее выражение для $\psi(n)$ в условиях, когда $\varphi_0 = -\pi/2$, $v=0$ согласно теории наследственности [8]:

$$\begin{aligned} \psi(n) = & \left\{ (1 - e^{-aT}) e^{-anT} \left(\frac{a^4}{(a^2 + \omega^2)^2} - \frac{2\lambda a^2}{a^2 + \omega^2} + \lambda^2 \right) + \frac{\omega \pi a}{a^2 + \omega^2} \right\} \times \\ & \times \left\{ \lambda (1 - e^{-aT/2}) e^{-anT} \left(\lambda - 1 + \frac{\omega^2}{a^2 + \omega^2} \right) + (1 + e^{-aT/2}) \times \right. \\ & \left. \times e^{-anT} \frac{1}{a^2 + \omega^2} \left(\frac{a^4}{a^2 + \omega^2} - \lambda a^2 \right) + \frac{2\lambda a^2}{a^2 + \omega^2} + \frac{a\omega\pi}{2(a^2 + \omega^2)} + \frac{2\lambda}{CE} \right\}^{-1}. \end{aligned} \quad (7)$$

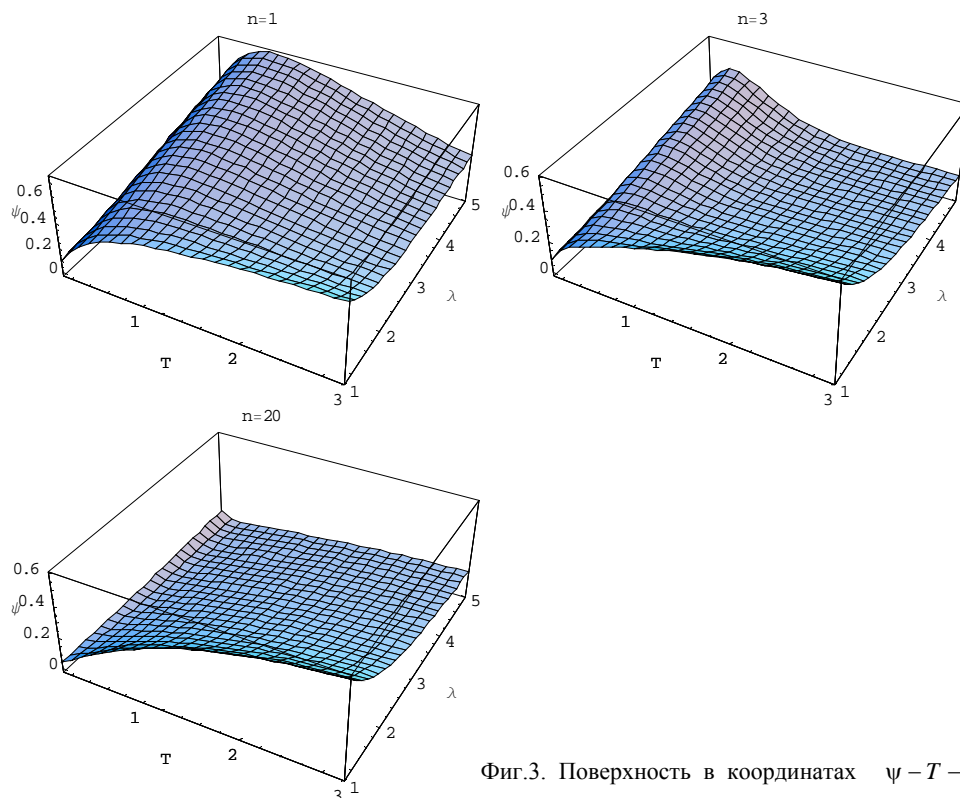
Ниже рассматривается графическое представление и анализ зависимости коэффициента поглощения ψ от ряда характеристик периодического изменения напряжения согласно линейной теории наследственности (7).



Фиг.1. Поверхность в координатах $\psi - T - n$ при разных значениях степени асимметрии λ .



Фиг.2. Поверхность в координатах $\psi - T - \lambda$ при разных значениях периода изменения напряжения T .



Фиг.3. Поверхность в координатах $\psi - T - \lambda$ при разных значениях номера цикла n .

Как вытекает из формулы (7), коэффициент поглощения ψ не зависит от значения σ_0 , хотя это вовсе не означает его независимость от амплитуды, так как для изучения зависимости от амплитуды необходимо обеспечение $\sigma_0 \lambda = \text{const}$.

На фиг.1 соответственно данным, полученным для глины [8], $E=21.5$ МПа, $a = 0.8 \text{сут.}^{-1}$, $C=0.00955$, приведены поверхности, описывающие зависимость значения коэффициента ψ от периода T , изменяющегося в минутах, и номера цикла n при различных значениях степени асимметрии λ . На фиг.2 приведены аналогичные поверхности в координатах $\psi - T - \lambda$ при различных значениях периода T . На фиг.3 – то же в координатах $\psi - T - \lambda$ при различных значениях n .

Как видно из данных фиг.1, при $\lambda = 1$, то есть при изменении нагрузки от нуля до $2\sigma_0$, с увеличением периода T коэффициент поглощения ψ монотонно растёт при любом номере цикла, причем зависимость от n при любом T весьма мала. При увеличении степени асимметрии нагружения ($\lambda = 2.333$ и $\lambda=4.333$) монотонность роста ψ от периода T нарушается: при малых значениях T значение ψ увеличивается, приближаясь к значению 0.6, а затем в районе $T=1$ мин, в зависимости от λ , при первых циклах нагружения начинает уменьшаться. Зависимость коэффициента поглощения ψ от степени асимметрии λ с увеличением количества циклов n становится монотонно убывающей, хотя на первых циклах нагружения ($n < 5$) при малых периодах T она является возрастающей.

Особое значение для приложений имеют данные при $n = 20$, так как при дальнейшем увеличении номера цикла изменение ψ несущественно. Наибольшее значение $\psi = 0.6$ имеет место при $\lambda = 1$ и $T = 3$ мин, при этом, зависимость ψ от номера цикла несущественна.

На основе анализа фиг. 1–3 можно сделать вывод, что в пределах изменения параметров λ , n и T наибольшие относительные потери энергии, определяемые коэффициентом λ , не превышают значения 0.6 и уменьшение его с увеличением номера цикла не всегда имеет место.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинер С. Упругость и неупругость металлов. // В сб.: «Упругость и неупругость металлов». М.: Изд.иностр.лит., 1954. С.9-168.
2. Гурев А.В., Мирошников Э.В. О форме механического гистерезиса и влияние предварительной пластической деформации на рассеяние энергии. Киев: 1974. С.203-209.
3. Мицкевич З.А. Исследование внутреннего поглощения в металлах. //Изв. высших учебных заведений. М.: Машиностроение, 1961. №6. С.749-751.
4. Давиденков Н.Н. О рассеянии энергии при вибрациях. //ЖТФ АН СССР.1938. Т.8. Вып.6. С.483-495.
5. Сорокин Е.С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем. М.: Госстройиздат, 1960. 131 с.
6. Шилькрут Д.И. Единая реологическая гипотеза для описания совместного влияния гистерезиса и наследственных явлений на колебательные процессы в не- вполне упругих системах. Рассеяние энергии при колебаниях упругих систем. Киев: Изд-во АН УССР, 1963. С.93-109.
7. Петросян Т.Л. Экспериментальное исследование влияния степени асимметрии цикла на формы и площади петли гистерезиса водонасыщенных глинистых грунтов при компрессии. //Изв. НАН Армении. Науки о Земле. 1993. Т.46. №2. С.60-63.
8. Петросян Т.Л., Симонян А.М. Исследование гистерезиса при малоцикловой ползучести. //Изв. НАН Армении. Механика. 2007. Т.60. №2. С.114-121.
9. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 752 с.
10. Симонян А.М. Некоторые вопросы ползучести. Ереван: Гитутюн, 1999. 255 с.

Сведения об авторах:

Симонян Арег Михайлович – ведущий научный сотрудник Института механики НАН РА. Тел.:(374 10) 52 75 39, (374 93) 45 70 86
E-mail: simonyan areg@mail.ru

Петросян Тигран Людвигович – научн.сотудник Института механики НАН РА
Тел.: (374 10) 67 43 04, (374 99) 16 50 38; E-mail: tlpetrosyan@mail.ru

Поступила в редакцию 19.01.2011