

МЕХАНИКА

УДК 531+539.3

**НОРМАЛЬНЫЙ УДАР КЛИНОМ ПО ВЯЗКОУПРУГОЙ НИТИ
С УЧЕТОМ ЕЕ РАЗРУШЕНИЯ
(дозвуковой режим)**

Т.Дж.МАМЕДОВ

Гянджинский Государственный Университет
aynur_qasimova@rambler.ru

В работе для дозвукового режима исследуются напряженное состояние и обрыв линейно вязкоупругой (типа Максвелла) нити при поперечном ударе жестким симметричным клином с постоянной скоростью.

Ключевые слова: удар клином, вязко упругая нить, коэффициенты, деформация, гибкая,

Поведение гибкой связи при нормальном ударе твердым телом существенно зависит от физических свойств материала связи. В данной работе рассматривается напряженное состояние и обрыв линейной вязкоупругой нити, закон деформирования которой подчиняется уравнению Максвелла. Нормальный удар по гибкой нити производится симметричным жестким клином с постоянной скоростью.

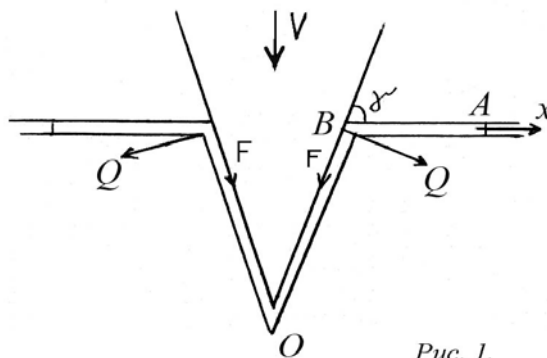


Рис. 1.

Исследуется случай, когда в нити скорость точки излома меньше скорости звука (дозвуковой режим движения).

§1. Пусть по бесконечно длинной гибкой прямолинейной ненапряженной гибкой нити производится нормальный удар жестким симметричным клином с постоянной скоростью V (рис.1). Принимается, что прогибная часть нити облегает щеку ударяющего клина.

В работе [2] экспериментально установлено, что при поперечном ударе клином разных углов раствора по резиновому шнуру, капроновым нитям разных диаметров ($d = 0,9mm - 1,5mm$), наблюдается движение с полным облеганием.

Нужно определить напряженное состояние нити в областях за и перед точкой излома B (рис.1), без и с учетом обрыва нити. Материал гибкой нити предполагается вязкоупругим

$$\dot{\sigma} \frac{\mu}{E} + \sigma = \mu \dot{\varepsilon}$$

или

$$\dot{\sigma} + \frac{E}{\mu} \sigma = E \dot{\varepsilon}, \quad \sigma = E \left[\varepsilon - k_1 e^{-k_1 t} \int_0^t e^{k_1 \tau} \varepsilon(\tau, x) d\tau \right] \quad (1.1)$$

Здесь σ - напряжение; ε - деформация; μ - коэффициент вязкости ($\mu = const$); E - модуль Юнга; $k_1 = \frac{E}{\mu}$ точки над буквами ε и σ означают производные по времени.

Уравнение движения нити в области облегания в области OB и в области перед точкой излома B (в области BA) соответственно, будут [1,2]:

$$\rho \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x}; \quad (1.2)$$

$$\rho \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x}; \quad (1.3)$$

где ρ - плотность; t - время; σ - напряжение; u_2 , x - эйлеровы и лагранжевы координаты частицы нити в области OB ; u_1 - смещение частицы нити в области BA .

Учитывая закон деформирования (1.1) уравнения (1.2), (1.3) соответственно примут вид

$$\frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} - \frac{E}{\mu} \frac{\partial u_1}{\partial t} \quad (1.4)$$

$$\frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} - \frac{E}{\mu} \frac{\partial u_2}{\partial t} \quad (1.5)$$

Условие на волне сильного разрыва (в точке излома B) и закон деформирования в безразмерном виде будут [1,2]:

$$\frac{\bar{b} - \bar{v}_1}{1 + \varepsilon_1} = \frac{b \sec \gamma - \bar{v}_2}{1 + \varepsilon_2} = \bar{z}^- \quad (1.6)$$

$$\bar{z} \cdot (\bar{v}_2 - \bar{v}_1 \cos \gamma - M \sin \gamma) = \bar{\sigma}_1 \cos \gamma - \bar{\sigma}_2 - \bar{F} \quad (1.7)$$

$$\bar{z} \cdot (M \cos \gamma - \bar{v}_1 \sin \gamma) = \bar{Q} + \bar{\sigma}_1 \sin \gamma; \quad (1.8)$$

$$\bar{\sigma} = \varepsilon - ke^{-kx} \int_0^x e^{k\tau} \varepsilon(\tau, x) d\tau \quad (1.9)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \bar{b} &= ba_0^{-1}; b = v \operatorname{ctg} \gamma; M = va_0^{-1}; \bar{v}_1 = v_1 a_0^{-1}; \bar{v}_2 = v_2 a_0^{-1} \\ \bar{\sigma}_1 &= \sigma_1 E^{-1}; \bar{\sigma}_2 = \sigma_2 E^{-1}; \bar{F} = F \cdot E^{-1}; \bar{Q} = Q \cdot E^{-1}; \bar{z} = z \cdot a_0^{-1}; \bar{\sigma} = \sigma E^{-1} \end{aligned}$$

Величины с черточкой – это безразмерные параметры; \bar{z} - отношение скорости волны сильного разрыва к скорости упругой волны; $a_0^2 = E \cdot \rho^{-1}$; F , Q - касательная и нормальная к щеке клина, составляющая сосредоточенной силы, индексы 1, 2 обозначают величины перед и за точкой излома; γ - угол между первоначальным положением нити и щекой клина.

Кроме этого, вводим безразмерные величины в виде

$$\bar{u}_2 = u_2 \cdot R^{-1}; \bar{u}_1 = u_1 \cdot R^{-1}; \bar{x} = x \cdot R^{-1}; \bar{t} = a_0 t R^{-1}; \bar{k} = \frac{E R}{\mu a_0} \quad (1.8)$$

R - постоянная величина, имеющая размерность длины (радиус кругового поперечного сечения нити).

В дальнейшем во всех выражениях черточки над буквами опускаем.

Уравнения движения (1.4) и (1.5) с учетом (1.9) в безразмерном виде будут

$$\frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} - k \frac{\partial u_2}{\partial t} \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} - k \frac{\partial u_1}{\partial t} \quad (1.10)$$

Деформации $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ за и перед фронтом волны сильного разрыва выражаются в виде

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial u_2}{\partial x} - 1; \varepsilon_1 = \frac{\partial u_1}{\partial x} \quad (1.11)$$

Имеем условие в точке удара (без обрыва нити)

$$u_2(x, t)|_{x=0} = 0 \quad (1.12)$$

и условие на фронте упругой волны (в точке А)

$$u_1(x, t)|_{x=t} = 0 \quad (1.13)$$

§2. Для получения решения задачи в области $OB(0 \leq x < zt)$ и $BA(zt \leq x < t)$ функции u_n представим в виде разложения по параметру k

$$u_n(x, t) = \sum_{i=0}^{\infty} k^i u_n^{(i)} \quad (2.1)$$

Здесь $n = 1, 2, u_2$ - относится к области, OB , а u_1 - к области BA (рис.1), k - считается малым, т.е. $k < 1$.

Ограничимся двумя членами в правой части (2.1) и решение задачи в каждой области представим в виде

$$u_2(x, t) = u_2^0(x, t) + ku_2^{(1)}(x, t) \quad (2.2)$$

$$u_1(x, t) = u_1^0(x, t) + ku_1^{(1)}(x, t) \quad (2.3)$$

где

$$\left. \begin{aligned} u_2^0 &= a_{02}(t-x) + b_{02}(t+x); \\ u_2^{(1)} &= a_{22}(t-x)^2 + b_{22}(t+x)^2 - \frac{a_{02} + b_{02}}{4}(t^2 - x^2) \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

$$\left. \begin{aligned} u_1^0 &= a_{01}(t-x) + b_{01}(t+x); \\ u_1^{(1)} &= a_{11}(t-x)^2 + b_{11}(t+x)^2 - \frac{a_{01} + b_{01}}{4}(t^2 - x^2) \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Здесь, $u_2^{(0)}, u_1^{(0)}$ - решения задачи соответствуют линейно упругому случаю; $a_{02}, b_{02}, a_{22}, b_{22}, a_{01}, b_{01}, a_{11}, b_{11}$ - пока неизвестные коэффициенты и определяются из краевых условий (1.6), (1.7), (1.8), (1.12), (1.13).

Траекторию волны сильного разрыва представим в виде разложения по параметру k .

$$x_*(t) = z_0 t + kz_1 t^2 + \dots \quad (2.6)$$

Тогда скорость волны сильного разрыва будет

$$z = \frac{dx_*}{dt} = z_0 + k2z_1 t \quad (2.7)$$

В формуле (2.6) все величины безразмерные; z_0, z_1 , - неизвестные пока константы. Здесь ограничимся случаем двух членов в правой части (2.6).

Сначала, построим решение задачи в случае, когда выполняется неравенство [2]

$$F < \mu_* Q \quad (2.8)$$

Неравенство (2.8) влечет за собой условие прилипания частицы нити за точкой излома, т.е. в точке излома относительная скорость частицы нити равна нулю

$$v_2 = \frac{\partial u_2}{\partial t} = 0 \quad (2.9)$$

Подставляя (2.2)-(2.5), в условиях (1.6), (1.12), (1.13), (2.9), с учетом (2.6), (2.7) и, приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях k определяем неизвестные константы в виде:

$$\begin{aligned} a_{02} &= -b_{02}; 2b_{02} - 1 = b \cdot (\sec \gamma - 1) = \varepsilon_2^{(0)}; b = M \cdot \operatorname{ctg} \gamma; \\ b_{22} &= 0; -a_{01} = b \cdot (\sec \gamma - 1) = \varepsilon_1^{(0)}; a_{22} = 0 \\ b_{01} &= 0; b_{11} = 0; a_{11} = \frac{a_{01}}{4} \frac{1+z_0}{1-z_0}; z_1 = 0 \\ z_0 &= \frac{b}{b+(1-b)\cos \gamma}; v_2 = \frac{\partial u_2}{\partial t} = v_2^{(0)} = 0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Таким образом, решение задачи в случае $F < \mu_* Q$ в каждой области, т.е. в области за и перед точкой излома В соответственно определяются в виде:

$$\begin{aligned} u_1(x, t) &= \varepsilon_1^{(0)}(x-t) - \frac{k\varepsilon_1^{(0)}}{4} \left[\frac{1+z_0}{1-z_0} (t-x)^2 + (t^2 - x^2) \right]; z_0 t \leq x \leq 1 \\ u_2(x, t) &= (1 + \varepsilon_2^{(0)})x; 0 \leq x \leq z_0 t \end{aligned} \quad (2.11)$$

Следовательно, деформации, скорость частицы и напряжения в области ОВ и ВА, соответственно будут:

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \varepsilon_1^{(0)} \left\{ 1 + \frac{k}{2} \left[\frac{1+z_0}{1-z_0} (t-x) + x \right] \right\} \\ v_1 &= \varepsilon_1^{(0)} \left\{ -1 - \frac{k}{2} \left[\frac{1+z_0}{1-z_0} (t-x) + t \right] \right\} \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \varepsilon_1^{(0)} \left\{ 1 + \frac{k}{1} \left[\frac{1+z_0}{1-z_0} (t-x) - x + 2t \right] \right\} \\ \varepsilon_2 &= \varepsilon_2^{(0)} = b(\sec \gamma - 1) = \varepsilon_1^{(0)}, \\ \nu_2 &= \frac{\partial u_2}{\partial t} = \nu_2^{(0)} = 0, \\ \sigma_2 &= \varepsilon_2^{(0)} (1 - kt), \\ z_0 &= b[b + (1-b)\cos\gamma]^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

Здесь $\varepsilon_1^{(0)}, \varepsilon_2^{(0)}, \nu_2^{(0)}, z_0^{(0)}$ соответствуют деформации, скорость частиц, скорость волны сильного разрыва упругой задачи. Здесь и далее индекс 2 относится к области ОВ, а индекс 1 относится к области ВА.

Теперь определим решение задачи при $\gamma > 2\gamma_*$. При этом выполняется условие [2]

$$F = \mu_* Q \quad (2.14)$$

Решения уравнений (1.9), (1.10) для этого случая представим в виде (2.2) - (2.5).

Из условий (1.12), (1.13) определим следующие неизвестные константы в виде

$$b_{01} = b_{11} = 0; \quad b_{02} = -a_{02}; \quad b_{22} = -a_{22} \quad (2.15)$$

Учитывая (2.15), величины, $\varepsilon_1, \nu_1, \sigma_1, \varepsilon_2, \nu_2, \sigma_2$ принимают следующий вид

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= -a_{01} + k \left[-2a_{11}(t-x) + \frac{a_{01}}{2} x \right]; \\ \nu_1 &= a_{01} + k \left[2a_{11}(t-x) + \frac{a_{01}}{2} t \right]; \\ \sigma_1 &= -a_{01} + k \left[-2a_{11}(t-x) + \frac{a_{01}}{2} (x+2t) \right]; \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_2 &= 2b_{02} - 1 + k4b_{22}t; \quad \nu_2 = k4b_{22}x; \\ \sigma_2 &= 2b_{02} - 1 + k[4b_{22} - (2b_{02} - 1)t]; \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

Далее, подставляя (2.16), (2.17), (2.6), (2.7) в условия (1.6), (1.7), (1.8) с учетом (2.14) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях k , определяем неизвестные константы $a_{01}, a_{11}, b_{02}, b_{22}, z_1$ в виде

$$a_{01} = -\frac{z_0 - b}{1 - z_0}; \quad b_{02} = \frac{b}{z_0} \sec \gamma ;$$

$$a_{11} = \frac{a_{01}}{4} \frac{1+z_0}{1-z_0} - \frac{z_1}{(1-z_0)^2} (1-a_{01}); \quad b_{22} = \frac{-z_1 b_{02}}{z_0 2} > 0;$$

$$z_1 = \frac{\varphi_1(\varepsilon_1^{(0)}, \varepsilon_2^{(0)}, z_0, \gamma, \mu_*)}{\varphi_2(M, \gamma, \gamma_*, z_0, \varepsilon_2^{(0)})} < 0 \quad (2.18)$$

$$\varphi_2 = 2 \left[M \cos \gamma (tg \gamma - tg \gamma_*) + (1 + tg \gamma_* tg \gamma) \cos \gamma + \frac{1+z_0^2}{z_0} \frac{1+\varepsilon_2^{(0)}}{2} \right] > 0;$$

$$\varphi_1 = -\varepsilon_2^{(0)} + \varepsilon_1^{(0)} (1 + tg \gamma_* tg \gamma) \left(1 - \frac{1+z_0^2}{2} \right) \cos \gamma < 0;$$

Константа z_0 определяется из следующего уравнения

$$b \cdot \varphi_3 = \varphi_4 \quad (2.19)$$

Здесь

$$\varphi_3 = z_0 tg \gamma_* \sin \gamma \cos \gamma + z_0^2 tg \gamma_* \sin \gamma + 1 + z_0 \cos^2 \gamma - z_0^2 \sin^2 \gamma;$$

$$\varphi_4 = z_0 \cos \gamma + z_0^2 \cos^2 \gamma + z_0^2 tg \gamma_* \sin \gamma \cos \gamma;$$

Как видно, решить уравнение (2.19) относительно z_0 не удобно, но оно легко разрешается относительно b и при заданном z_0 :

$$b = \varphi_4 \cdot \varphi_3^{-1} \quad (2.20)$$

Таким образом, определены все неизвестные коэффициенты и основные параметры задачи $\varepsilon_1, \nu_1, \sigma_1, \varepsilon_2, \nu_2, \sigma_2$ выражаются формулами

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_1^{(0)} + k \varepsilon_1^{(0)} \left\{ \left[\frac{1+z_0}{4(1-z_0)} + \frac{z_1}{(1-z_0)^2} \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_1^{(0)}} \right) \right] (t-x) - \frac{x}{2} \right\};$$

$$\nu_1 = \nu_1^{(0)} + k \nu_1^{(0)} \left\{ \left[\frac{1+z_0}{4(1-z_0)} + \frac{z_1}{(1-z_0)^2} \left(\frac{1}{\nu_1^{(0)}} - 1 \right) \right] (t-x) + \frac{t}{2} \right\}; \quad (2.21)$$

$$\sigma_1 = \sigma_1^{(0)} + k \sigma_1^{(0)} \left\{ \left[\frac{1+z_0}{4(1-z_0)} + \frac{z_1}{(1-z_0)^2} \left(1 + \frac{1}{\sigma_1^{(0)}} \right) \right] (t-x) - \frac{x+2t}{2} \right\};$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_2^{(0)} - k \frac{z_1}{z_0} (1 + \varepsilon_2^{(0)}) t; \quad \nu_2 = -k \frac{z_1}{z_0} (1 + \varepsilon_2^{(0)}) x > 0; \quad (z_1 < 0);$$

$$\sigma_2 = \sigma_2^{(0)} - k \left[\frac{z_1}{z_0} (1 + \varepsilon_2^{(0)}) + \varepsilon_2^{(0)} \right] t; \quad \nu_2 = 0; \quad (2.22)$$

Из формулы (2.22) следует, что скорость частицы нити v_2 в области $0 \leq x \leq x_*(t)$ равна нулю только в точке удара ($x=0$) и при $0 < x < x_*(t)$ растет по переменной x . Из формулы (2.18), (2.7) следует, что скорость фронта волны сильного разрыва в вязкоупругой нити меньше, чем в упругой нити.

Здесь $\sigma_2^{(0)} = \varepsilon_2^{(0)}$; $\sigma_1^{(0)} = \varepsilon_1^{(0)}$; $\varepsilon_1^{(0)}, \varepsilon_2^{(0)}, v_1^{(0)}, v_2^{(0)}$ деформации и скорость частиц линейно упругой нити. Если не учитывать вязкостные свойства материала нити, то из формулы решения линейно упругой задачи, они выражаются в виде.

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^{(0)} &= \frac{z_0}{1-z_0} \frac{1-\cos\gamma - z_0^2 \cdot \alpha_2 \cdot 0,5 \sin 2\gamma}{1+z_0 \cdot \alpha_1 \cdot \cos^2 \gamma - 0,5 \cdot z_0^2 \cdot \alpha_2 \cdot \sin 2\gamma}; & \sigma_1^{(0)} &= \varepsilon_1^{(0)}; \\ \varepsilon_2^{(0)} &= z_0 \cos\gamma \frac{z_0 \cdot \alpha_2 \cdot \sin\gamma - \alpha_2(1-\cos\gamma)}{1+z_0 \cdot \alpha_1 \cdot \cos^2 \gamma - 0,5 \cdot z_0^2 \cdot \alpha_2 \cdot \sin 2\gamma}; & \sigma_2^{(0)} &= \varepsilon_2^{(0)}; \\ v_1^{(0)} &= -\varepsilon_1^{(0)}; \alpha_1 = 1 + \operatorname{tg}\gamma \cdot \operatorname{tg}\gamma_*; & v_2^{(0)} &= 0, \alpha_2 = \operatorname{tg}\gamma - \operatorname{tg}\gamma_* \end{aligned}$$

§ 3. Теперь построим решение данной задачи с учетом обрыва нити. Для этого определяется $\max \sigma$ и эта величина приравнивается критическому (разрушающему) напряжению σ_{kp} . Здесь σ_{kp} - прочность на разрыв материала нити.

Исследуем обрыв вязкоупругой нити в случае когда на волне сильного разрыва (в точке излома В) имеет место условие (2.8), т.е. условие (2.9). Из формулы (2.13) следует, что напряжение в точке удара ($x=0$) больше тем в области $0 < x \leq x_*(t)$. Поэтому предельное условие должно быть в качестве $\max \sigma$, это условие в точке удара ($x=0$) примет вид

$$2\varepsilon_2^{(0)}(1-kt) = \sigma_{np}^{(a)} \quad (3.1)$$

Здесь $\sigma_{np}^{(b)} = \frac{\bar{\sigma}_{np}^{(a)}}{\rho a_0^2}$; $\bar{\sigma}_{np}^{(a)}$ прочность на разрыв вязкоупругой нити,

$$2\varepsilon_2^{(0)} = 2\sigma_2^{(0)} = \sigma_{np}^{(y)}; \sigma_{np}^{(y)} = \frac{\bar{\sigma}_{np}^{(y)}}{\rho a_0^2};$$

где $\bar{\sigma}_{np}^{(y)}$ -прочность на разрыв упругой нити; $\varepsilon_2^{(0)}, \sigma_2^{(0)}$ выражаются формулами (2.13).

Из формулы (3.1) получим

$$\sigma_{np}^{(y)}(1-kt) = \sigma_{np}^{(a)} \quad (3.2)$$

Из выражения (3.2) следует, что при $\sigma_{np}^{(y)} = \sigma_{np}^{(a)}$ вязкоупругая нить обрывается в точке удара в момент удара (рис. 2), а при $\sigma_{np}^{(y)} < \sigma_{np}^{(a)}$ нить не обрывается.

При $\sigma_{i\partial}^{(0)} > \sigma_{i\partial}^{(b)}$ вязкоупругая нить обрывается.

Для решения задачи с обрывом при $\gamma < 2\gamma_*$ нужно решить уравнение движения нити (1.9), (1.10) с условиями (1.6) – (1.8), (1.13), (2.14) и с учетом условия

$$\sigma_2(x, t)|_{x=0} = 0 \quad (3.3)$$

учитывающим факт обрыва нити в точке удара $x = 0$.

Решение задачи в области облегания нити к щеке клина (рис.2) и в области перед точкой налегания B представляются в виде (2.2) – (2.5). Подставляя (2.2) – (2.5) в условиях (1.6) – (1.8), (1.13), (2.14), (3.3) с учетом (2.6), (2.7) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях k , определяем неизвестные константы $a_{01}, b_{01}, a_{11}, b_{11}, a_{02}, b_{02}, a_{22}, b_{22}, z_0, z_1$ в виде

$$b_{02} = 1 + a_{02}; \quad b_{22} = a_{22}; \quad a_{01} = -\frac{z_0 - b}{1 - z_0} = -\varepsilon_1^{(0)}; \quad (3.4)$$

$$2a_{02} + 1 = b \sec \gamma - z_0; \quad b_{01} = 0; \quad b_{11} = 0; \quad a_{11} = \frac{a_{01}}{4} \frac{1 + z_0}{1 - z_0} - \frac{1 - a_{01}}{(1 - z_0)^2} z_1;$$

$$b_{22} = -\frac{z_1}{(1 - z_0^2)} \frac{1}{2} + \frac{2a_{02} + 1}{8} \frac{1 - z_0^2}{1 - z_0^2};$$

$$b = z_0 \cos \gamma \frac{z_0 + \alpha_1 \cos \gamma}{z_0 + \alpha_1 \cdot \cos^2 \gamma - 0,5 \cdot \alpha_2 \cdot z_0 \cos 2\gamma}; \quad 2a_{02} + 1 = v_2^{(0)} \quad (3.5)$$

$$v_2^{(0)} = z_0 \cos \gamma \frac{(1 + \alpha_1)(1 - \cos \gamma) + \alpha_2 \cdot z_0 \sin \gamma}{z_0 + \alpha_1 \cdot \cos^2 \gamma + 0,5 \cdot \alpha_1 \cdot z_0 \cdot \sin 2\gamma} > 0; \quad (3.6)$$

$$\varepsilon_1^{(0)} = \frac{z_0}{1 - z_0^2} \frac{\sin \gamma \left(\operatorname{tg} \gamma_* - \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \right)}{(1 + \alpha_1)(1 + z_0) \cos \gamma} > 0; \quad (3.7)$$

$$\gamma < 2\gamma_*, \quad v_1^{(0)} = -\varepsilon_1^{(0)}, \quad \sigma_2^{(0)} = \varepsilon_2^{(0)} = 0$$

$$z_1 = -\frac{\psi_1}{\psi_2} < 0; \quad (3.8)$$

$$\psi_1 = (1 + \mu_* \operatorname{tg} \gamma) \varepsilon_1^{(0)} \cos \gamma + v_2^{(0)} z_0 \frac{1 - z_0^2}{1 + z_0^2} - \frac{\varepsilon_1^{(0)}}{2} \left[(1 - z_0^2) \mu_* \sin \gamma + \cos \gamma - z_0 \right]; \quad (3.9)$$

$$\psi_2 = 2 \left\{ v_0^2 + b \sin \gamma (\mu_* + \operatorname{tg} \gamma) + \varepsilon_1^{(0)} (1 - \mu_* \operatorname{tg} \gamma) \cos \gamma + \frac{1 + \varepsilon_1^{(0)}}{1 - z_0} (z_0 - \cos \gamma) - \frac{2z_0}{1 + z_0^2} \right\};$$

В области $x_*(t) \leq x \leq t$ деформация ε_1 , скорость частиц v_1 и напряжения σ_1 определяются в виде (2.16), но a_{11} , $\varepsilon_1^{(0)}$, z_0 , z_1 выражаются формулами (3.4), (3.7), (3.5), (3.8) соответственно.

В области от точки обрыва ($x=0$) до фронта волны сильного разрыва ($0 \leq x \leq x_*(t)$) деформация ε_2 , скорость v_2 и напряжения σ_2 определяются в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= \frac{k}{1+z_0^2} (v_2^{(0)} - 2z_1)x; \quad v_2 = v_2^{(0)} - \frac{k}{1+z_0^2} (z_0 v_2^{(0)} + z_1)t; \\ \sigma_2 &= \frac{k}{1+z_0^2} (v_2^{(0)} - 2z_1)x; \end{aligned} \quad (3.10)$$

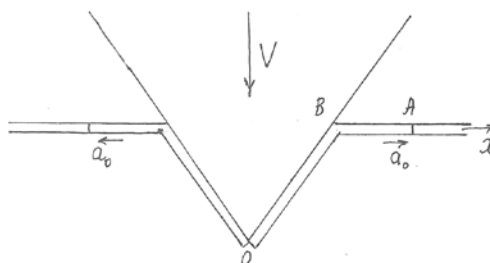


Рис 2.

Отметим, что при определении напряжения по формуле (1.1) функция e^{-kt} разложена в ряд Маклорена и ограничимся двумя членами этого разложения.

Из формулы (3.10) следует, что вязкоупругая нить за волной сильного разрыва напряжения деформация равна нулю только в точке ($x=0$) обрыва и принимают положительные значения в области $0 < x \leq x_*(t)$. Отметим что при линейно упругой задаче, в области облеганя ОВ (рис. 2) нить свободна от напряжений [2]

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахматуллин Х.А., Демьянов Ю.А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. Физматиз. М., 1961, 399 с.
2. Муталлимов Ш.М. Волновая динамика гибких связей. Баку: Элм, 2001, 267 с.

ÖZLÜ ELASTİK SAPA PAZLA NORMAL ZƏRBƏDƏ SAPIN QIRILMASI

T.C.MƏMMƏDOV

XÜLASƏ

Bu məqalədə Maksvell tipli özlü elastik sapa pazla eninə zərbə məsələsinə baxılır. Fərz olunur ki, elastik dalğanın sürəti kəskin kəsilmə dalğasının sürətindən böyükdür. Həmçinin sapa qırılmasına baxılır.

Açar sözlər: paz, qırılma, çevik sap, eninə zərbə, dalğanın sürəti

NORMAL BLOW BY A WEDGE ON THE VISCOELASTIC THREAD BY ACCOUNT OF ITS DESTRUCTION

T.J.MAMMADOV

SUMMARY

In the work, tension and breakage of the linear viscoelastic (Maksvella type) thread are investigated for a subsonic mode at a cross blow by a rigid symmetric wedge with a constant speed.

Key words: wedge, break, flexible, filament, cross-section impact, supersonic

Поступила в редакцию: 08.06.2015 г.

Подписано к печати: 17.11.2015 г.