

УДК 532:536.24; 539.3.

<https://doi.org/10.47533/2024.1606-146X.68>

**С. Н. БУГАНОВА<sup>1\*</sup>, А. Ж. ТОЛГАНБАЕВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан;*

<sup>2</sup>*Казахский национальный исследовательский технический университет, Алматы, Казахстан.*

*\*E-mail: svetlanabuganova7@gmail.com*

## **РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛНЫ РАСШИРЕНИЯ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ ВНУТРИ ВЫДЕЛЕННОГО ОБЪЕМА НАПОЛНИТЕЛЯ ГЕЛИОУСТАНОВКИ**

**Буганова Светлана Николаевна** – к.т.н., профессор, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан;

E-mail: svetlanabuganova7@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2005-3305>

**Толганбаев Акжан Жубаевич** – к.ф.-м.н., ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: akzhan.tolganbaev.61@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5193-7571>

*В данной статье рассматривается математическая модель бифуркационных вынужденных колебаний цепной трехмассовой системы, когда мера ее динамической восприимчивости несоизмерима с мерами вынужденных бифуркационных сил. Эквивалентная среда внутри выделенного объема наполнителя гелиоустановки или ее движение обратимы при возникновении турбулентности.*

*Получены распределения возмущений, вызванных промежуточной внутренней неустойчивостью предцентрального слоя после снятия условий под сосредоточенной перерезывающей нагрузкой в зонах затвердения, кристаллизации и охлаждения. Представлены результаты сравнения предцентрального и центрального слоев.*

**Ключевые слова:** *трубчатая конструкция, предцентральный слой, центральный аномальный слой, возмущения, устойчивость, амплитудно-частотные характеристики, нефтенасыщенность.*

**С. Н. БУГАНОВА<sup>1\*</sup>, А. Ж. ТОЛГАНБАЕВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан.*

<sup>2</sup>*Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан.*

*\*E-mail: svetlanabuganova7@gmail.com*

## **ГЕЛИОҚОНДЫРҒЫНЫҢ ТОЛТЫРҒЫШЫНЫҢ БӨЛІНГЕН КӨЛЕМІНДЕГІ ЖЫЛУ АЛМАСТЫРҒЫШТА КЕҢЕЮ ТОЛҚЫНЫНЫҢ ТАРАЛУЫ**

**Буганова Светлана Николаевна** – т.ғ.к., профессор, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан;

E-mail: svetlanabuganova7@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2005-3305>;

**Толганбаев Акжан Жубаевич** – ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: akzhan.tolganbaev.61@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5193-7571>.

*Бұл мақалада үш массалық тізбекті жүйенің бифуркациялық мәжбүрлі тербелістерінің математикалық моделі қарастырылады, оның динамикалық сезімталдық өлшемі мәжбүрлі бифуркациялық күштердің шараларымен салыстыруға келмейді. Күн қондырғысының немесе толтырғыштың бөлінген көлемінің ішіндегі эквивалентті орта немесе турбуленттілік пайда болған кезде оның қозғалысы қайтымды болады.*

*Қатайту, кристалдану және салқындату аймақтарындағы шоғырланған кесу жүктемесі жағдайында жағдай жойылғаннан кейін. Орталыққа дейінгі қабаттың аралық ішкі тұрақсыздығынан туындаған бұзылулардың үлестірімі қаттылық, кристаллизация және салқындату аймақтарында концентрацияланған ығысу жүктемесі жағдайларын жойғаннан кейін алынған. Орталыққа дейінгі және орталық қабаттарды салыстыру нәтижелері келтірілген.*

**Түйін сөздер:** құбырлы құрылым, орталыққа дейінгі қабат, орталық аномальды қабат, ауытқулар, тұрақтылық, амплитудалық-жиілік сипаттамалары, майдың қанығуы.

**S. N. BUGANOVA<sup>1\*</sup>, A. ZH. TOLGANBAEV<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan;*

<sup>2</sup>*Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan.*

*\*E-mail: svetlanabuganova7@gmail.com*

## **PROPAGATION OF EXPANSION WAVES IN A HEAT EXCHANGER WITHIN A DESIGNATED VOLUME OF THE HELIOINSTALLATION FILLER**

**Svetlana Nikolaevna Buganova** – PhD in Engineering, Professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan;

E-mail: svetlanabuganova7@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2005-3305>

**Akzhan Zhubayevich Tolganbaev** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: akzhan.tolganbaev.61@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5193-7571>

*This article considers a mathematical model of forced bifurcation oscillations of a three-mass chain system, when the measure of its dynamic susceptibility is incommensurable with the measures of forced bifurcation forces. The equivalent medium inside the allocated volume of the filler of the solar installation or filler, or its movement is reversible when turbulence occurs.*

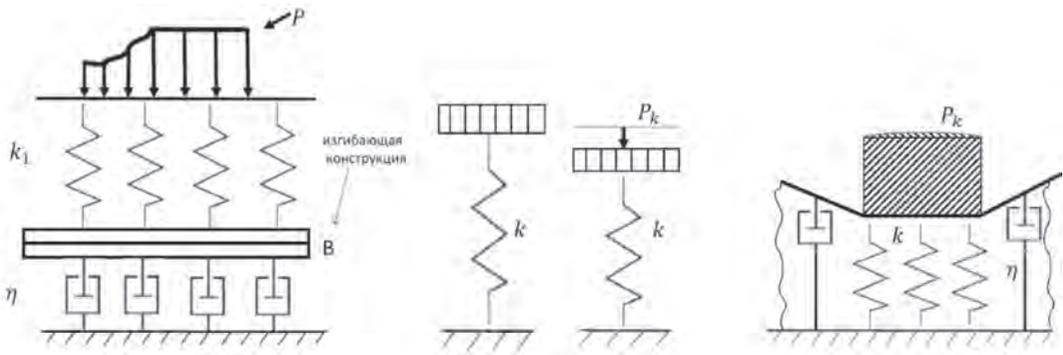
*Distributions of perturbations caused by the internal instability of the pre-central layer after abolishing conditions under a focused shear load in the zones of solidification, crystallization and cooling are obtained. The results of the comparison of the pre-central and central layers are presented.*

**Keywords:** tubular construction, pre-center layer, central anomalous layer, perturbations, stability, amplitude-frequency characteristics, oil saturation

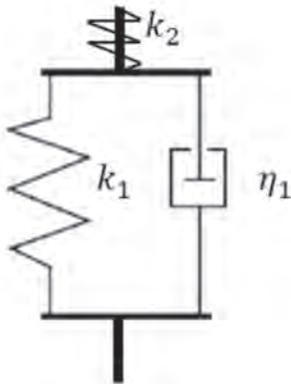
**1. Математическая модель бифуркационных вынужденных колебаний в теплообменнике под действием удара со стороны наполнителя при тепловом воздействии.**

Пусть законы переноса теплоты, массы и импульса справедливы в случае, когда число соударений между элементами выделенного объема нефтяной смеси наполнителя велико по сравнению с числом соударений элементов, ограничивающих объем поверхности. [1-2].

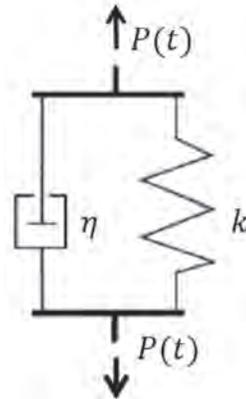
Для моделей характерны (рис.1): а)  $P = kW + \eta \frac{dW}{dx}$ ;



Модель реакции типа Пастернака



а) Модель Пастернака



б) Модель СЛТ

**Рисунок 1** – Модели реакций разных типов

б)  $\frac{dP}{dt} + \frac{k_1+k_2}{\eta_1} P = k_2 \frac{dW}{dt} + \frac{k_1 k_2}{\eta_1} W$ , демпфер участвует в промежуточных процессах технологии  $k \gg \eta$ ;

с)  $P = kW + \eta \frac{dW}{dt}$ , демпфер участвует в промежуточных процессах технологии  $k \gg \eta$ ;

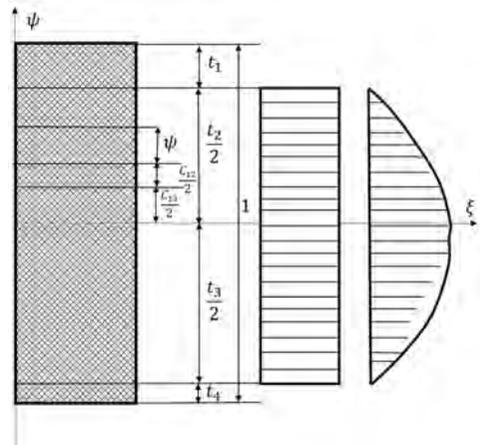
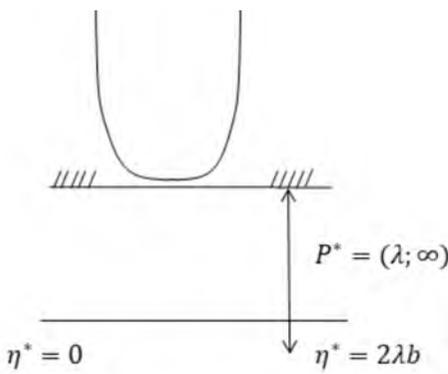
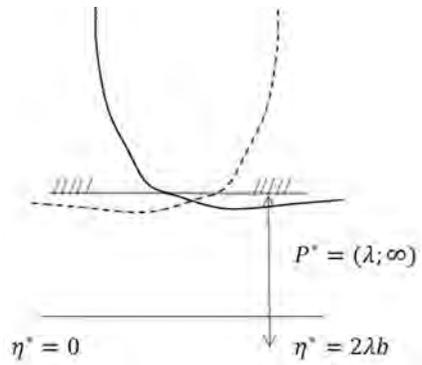
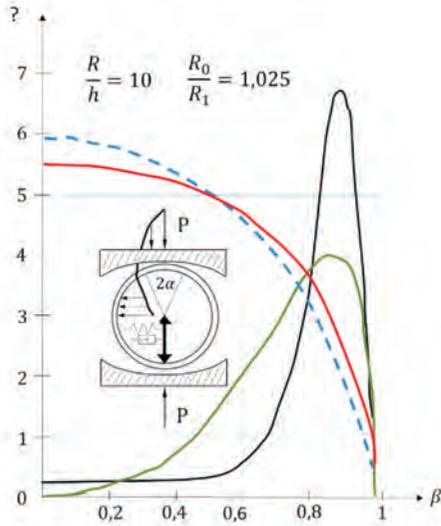
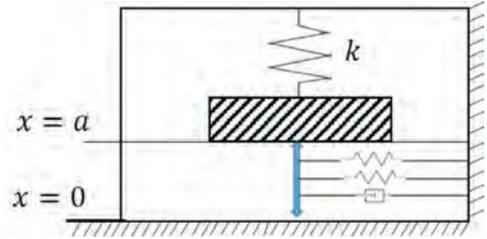
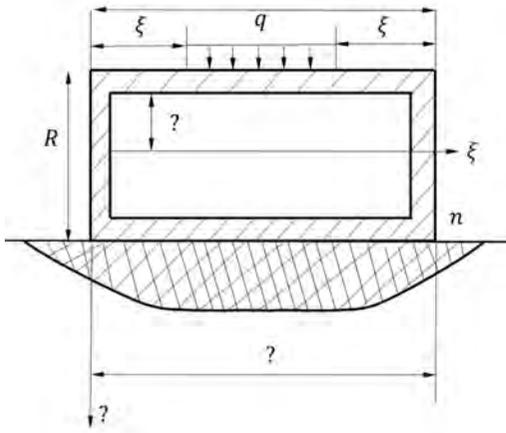


Рисунок 2 – Контактные задачи

возьмем в виде [3], [4].

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ \varepsilon(x) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \eta(x) \frac{\partial W}{\partial x} \right] = q_k(x) \frac{\partial W}{\partial t} \quad (1)$$

$$\eta(x) = n_j \frac{x^2}{2} - N_1 x + 2B$$

здесь  $\varepsilon(x)$  – изменение жесткости поперечного сечения наименьшего радиуса инерции;  $q_k(x)$  – критическая активная неравномерная сила с «внешним» и «внутренним» трением;  $\eta(x)$  – переменные параметры вязкости;  $N_1$  – коэффициент при продольной внутренней критической силе;  $2B$  – коэффициент при перерезывающей силе

$$N_{кр} = N_1 \frac{d^2 W}{dx^2}; Q = 2B \frac{d^3 W}{dx^3}$$

Начальные условия для низкотемпературной релаксации

$$W(x; t)|_{t=0} = \sigma_0 e^{-\left(\frac{k_j}{\eta_j}\right)^p \tau}; \left. \frac{dW}{dt} \right|_{t=0} = \sigma_0 e^{-k_a \tau} \quad (2)$$

здесь  $p$  – плотность;  $k_j$  – кинематическая жесткость; кинематическая вязкость;  $\tau$  – время релаксации;  $k_D$  – вязкоупругая деформация вследствие диффузии;  $\sigma_0$  – начальные напряжения по М.А. Био;  $k_a$  – деформация на границе среднетемпературной релаксации.

Бифуркационное вынужденное колебание в теплообменнике после разделения переменных представим, с учетом начальных условий при среднетемпературной релаксации [3], [4],

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[ \varepsilon(x) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \eta(x) \frac{\partial W}{\partial x} \right] = \pm \frac{1}{\sigma_0} e^{(k_a - k_D)\tau} q_k(x) \quad (3)$$

при условии из формулы изобретений

$$\eta(x) = n_j \frac{x^2}{2} - N_1 x + 2B$$

$$\frac{q_k(x)}{\varepsilon(x)} = const; \frac{1}{\sigma_0} e^{(k_a - k_D)\tau} = A = const; \frac{\eta(x)}{\varepsilon(x)} = \left\{ \frac{1}{x}; \frac{1}{1-x} \right\} \quad (4)$$

1.1 Бифуркационное вынужденное колебание предцентрального слоя, когда его мера динамической восприимчивости соизмерима с мерами вынужденных сил теплообменника, т.е.,  $\frac{\eta(x)}{\varepsilon(x)} = \frac{1}{x}$ .

Математическая модель (из формулы изобретения)

$$\frac{d^2 W}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dW}{dx} = A \left( \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \right) \quad (5)$$

граничные условия

$$W(x; t)|_{x=0} = k_1; \left. \frac{dW}{dx} \right|_{x=0} = \eta_1, \Gamma^I - \text{условие Грина}$$

$$\left. \frac{dW^2}{dx^2} \right|_{x=1} = \frac{1}{k_2}; \left. \frac{dW^3}{dx^3} \right|_{x=1} = \frac{1}{\eta_1} \text{ (действие под нагрузкой)} \quad (6)$$

Решение. Дифференциальное уравнение второго порядка, приводящее к первому порядку, общее решение имеет вид:

$$W(x) = A \left( \frac{x^4}{32} + C_1 \frac{x^3}{9} + C_2 \frac{x^2}{4} \right) + C_3 \ln x + C_4 \quad (7)$$

Подставляя в граничные условия, определим произвольные постоянные  $C_1, C_2, C_3, C_4$  и подставим их в решение:

$$\begin{aligned} W(x) = & \frac{1}{32}Ax^4 - \frac{1}{18} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2}{A}} \left[ \frac{3}{2}A + 2 \left( \frac{3}{\eta_1} - 1 \right) \right] x^3 - \\ & - \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2}{A}} \left[ \frac{3}{\eta_1} - \frac{2}{k_2} - \frac{2}{A} - 4 + A \left( \frac{2}{k_2} + \frac{3}{4} \right) \right] x^2 + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2}{A}} \left[ \frac{3}{\eta_1} + \frac{6}{k_2} - \frac{5}{2} - \frac{6}{A} \right] \ln x - \\ & - \frac{32-A}{32} - \frac{1}{36} \cdot \frac{1}{2+A} \left[ \frac{1}{A} \frac{39}{\eta_1} - \frac{18}{k_2} - 40 - \frac{18}{A} \right] + \frac{18}{k_2} + \frac{39}{4} \end{aligned} \quad (8)$$

здесь  $A = \left\{ \frac{1}{8}; \frac{1}{24}; \frac{1}{72} \right\}$ ,  $\frac{1}{A} = \{8; 24; 72\}$ ,  $k_1 = 90; k_2 = 520; \eta_1 = 0,87$

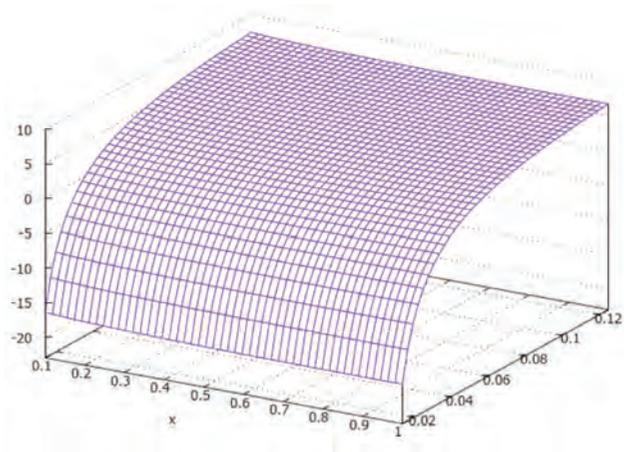


Рисунок 3 –  $W(x)$  при  $\frac{1}{A} = \{8; 24; 72\}$ ,  $k_1 = 90; k_2 = 520; \eta_1 = 0,87$

1.2 Бифуркационное вынужденное колебание предцентрального слоя, когда мера динамической восприимчивости его несоизмерима с мерами вынужденных сил теплообменника, т.е.,  $\frac{\eta(x)}{\varepsilon(x)} = \frac{1}{1-x}$ .

Математическая модель (из формулы изобретения)

$$\frac{d^2W}{dx^2} + \frac{1}{1-x} \frac{dW}{dx} = A \left( \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \right) \quad (9)$$

граничные условия

$$W(x; t)|_{x=0} = k_1; \frac{dW}{dx}|_{x=0} = \eta_1, \Gamma^I - \text{неоднородное условие Грина}$$

$$\frac{d^2W}{dx^2}|_{x=1} = \frac{1}{k_2}; \frac{d^3W}{dx^3}|_{x=1} = \frac{1}{\eta_1} \text{ (действие под нагрузкой)} \quad (10)$$

Решение. (9) – есть обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка, приводящее к первому порядку, общее решение имеет вид:

$$W(x) = -\frac{1}{120}A\{4(1-x)^5 - 15(1-x)^4 + 60(1-x)^3 + 15(1-x)^2(2\ln|1-x| - 1) + 5C_1(3(1-x)^4 - 16(1-x)^3 + 6(1-x)^2(2\ln|1-x| - 1) + 10C_2((1-x)^3 - 3(1-x)^2(2\ln|1-x| - 1))\} + C_3(x - \frac{x^2}{2}) + C_4 \quad (11)$$

Подставляя в граничные условия, определим произвольные постоянные  $C_1, C_2, C_3, C_4$  и подставим их в решение:

$$W(x) = (-\frac{1}{5}) * A\{4(1-x)^5 - 15(1-x)^4 + 60(1-x)^3 + 15(1-x)^2(2\ln|1-x| - 1) + \frac{1}{9}(\frac{3\eta_1}{A} + \frac{3}{k_2} - \frac{2}{\eta_1} + 48)[3(1-x)^4 - 16(1-x)^3 + 6(1-x)^2(2\ln|1-x| - 1)] + \frac{5}{9}(15 - \frac{1}{\eta_1})(4(1-x)^3 - 3(1-x)^2(2\ln|1-x| - 1))\} + \frac{1}{15}[16\eta_1 - A(\frac{9}{k_2} - \frac{11}{\eta_1} + 324)](x - \frac{x^2}{2}) - \frac{1}{360}[19\eta_1 - 360k_1 + A(\frac{19}{k_2} - \frac{1}{\eta_1} + 27)] \quad (12)$$

здесь  $A = \{\frac{1}{8}; \frac{1}{24}; \frac{1}{72}\}$ ,

$$W(x) = \left(-\frac{1}{5}\right) * y * (4 * (1-x)^5 - 15 * (1-x)^4 + 60 * (1-x)^3 + 15 * (1-x)^2 * (2 * \ln(1-x) - 1) + \frac{1}{9} * (\frac{3*0,92}{y} + \frac{3}{1923} - \frac{2}{0,92} + 48) * (3 * (1-x)^4 - 16 * (1-x)^3 + 6 * (1-x)^2 * (2 * \ln(1-x) - 1))) + \frac{5}{9} * (15 - \frac{1}{0,92}) * (4 * (1-x)^3 - 3(1-x)^2(2\ln|1-x| - 1))) + \frac{1}{15} * (16 * 0,92 - y * (\frac{9}{1923} - \frac{11}{0,92} + 324)) * (x - \frac{x^2}{2}) - \frac{1}{360} * (19\frac{1}{A} = \{8; 24; 72\}, k_1 = 387; k_2 = 1923; \eta_1 = 0,92 * 0,92 - 360 * 387 + y * (\frac{19}{1923} - \frac{1}{0,92} + 27))$$

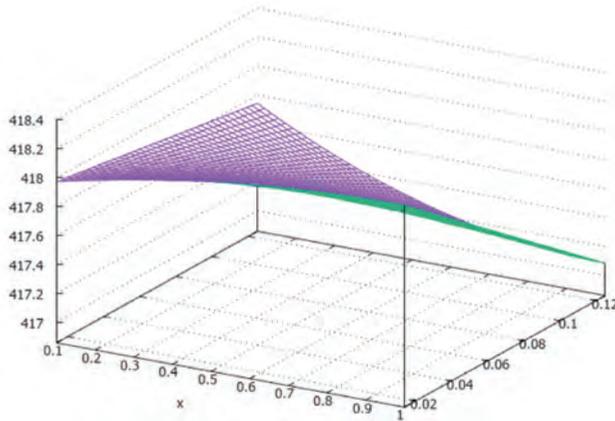


Рисунок 3 –  $W(x)$  при  $\frac{1}{A} = \{8; 24; 72\}, k_1 = 387; k_2 = 1923; \eta_1 = 0,92$

**2. Динамический расчет переноса потока теплоты в цепной трехмассовой системе теплообменника модифицированной гелиоустановки.**

Исходя из формулы изобретения математическая модель переноса теплоты, массы, импульса и конвекции при тепло-волновом процессе, запишем в виде [5-7]:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ \varepsilon(x) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \eta(x) \frac{\partial W}{\partial x} \right] = q_k(x) \frac{\partial W}{\partial t} \tag{13}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \nabla^2 u, \quad \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = b^2 \nabla^2 v$$

здесь  $a^2 = \frac{k_1}{\eta_1}; \quad b^2 = \frac{k_2}{\eta_2}; \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad \eta(x) = \eta_j \frac{x^2}{2} - N_1 x + 2B,$

$N_{кр} = N_1 \frac{d^2 W}{dx^2}; \quad Q = 2B \frac{d^3 W}{dx^3}, \quad u = u(x; y; x; t), \quad v = v(x; y; z; t), \quad W = W(x; t)$  – функция перемещения.

Начальные условия относительно функции перемещения  $W = W(x; t)$  при тепловом воздействии:

$$\begin{aligned} W(x; t)|_{t=0} &= k(x); \quad \left. \frac{dW}{dt} \right|_{t=0} = \eta(x), \\ W(x; t)|_{t=\frac{\pi}{2n}} &= 0; \quad \left. \frac{dW}{dt} \right|_{t=\frac{\pi}{2n}} = 0, \end{aligned} \tag{14}$$

Краевые условия относительно функции перемещения  $W = W(x; t)$  при тепловом воздействии:

$$\begin{aligned} W(x; t)|_{x=0} &= k_1; \quad \left. \frac{dW}{dx} \right|_{x=0} = \eta_1, \\ \left. \frac{dW^2}{dx^2} \right|_{x=1} &= \frac{1}{k_2}; \quad \left. \frac{dW^3}{dx^3} \right|_{x=1} = \frac{1}{\eta_1}, \end{aligned} \tag{15}$$

Начальные условия относительно функции перемещения  $u = u(x; y; x; t)$ ,  $v = v(x; y; z; t)$  безвихревого объемного распространения волны

$$\begin{aligned} u(x; y; x; t)|_{t=0} &= u(M_1), \quad M_1\left(-\frac{a}{m}; \frac{\pi-b}{l}; z\right), \\ v(x; y; x; t)|_{t=0} &= v(M_2), \quad M_2\left(\frac{\pi-a}{m}; \frac{-b}{l}; z\right) \end{aligned} \quad (16)$$

здесь

$$\begin{aligned} u(x; y; x; t) &= u(z) \cos(mx + a) \sin(ly + b) e^{i\omega t}, \\ v(x; y; x; t) &= v(z) \sin(mx + a) \cos(ly + b) e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (17)$$

$$l = \left\{ \alpha; \frac{\sqrt{2}}{2} \alpha \right\}, \quad m = \left\{ \alpha; \frac{\sqrt{3}}{2} \alpha \right\}, \quad a = \sqrt{\frac{k_1}{\eta_1}}, \quad b = \sqrt{\frac{k_2}{\eta_2}} \quad (18)$$

Краевые условия относительно функции перемещения  $u = u(x; y; x; t)$ ,  $v = v(x; y; z; t)$

$$\begin{aligned} u(M_1)|_{z=0} &= k_1; \quad \left. \frac{\partial u(M_1)}{\partial z} \right|_{z=0} = \eta_1, \\ v(M_2)|_{z=0} &= k_1; \quad \left. \frac{\partial v(M_2)}{\partial z} \right|_{z=0} = \eta_1, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} u(z) &= C_1 e^{\alpha z} + C_2 e^{-\alpha z}, \quad m = l = \alpha = \sqrt{\frac{\eta_1^2}{k_1(k_1^2 + \eta_1^2)}}, \\ v(z) &= C_1 e^{\alpha z} + C_2 e^{-\alpha z}, \quad m = \frac{\sqrt{3}}{2} \alpha; \quad l = \frac{\sqrt{2}}{2} \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\eta_1^2}{k_1(k_1^2 + \eta_1^2)}}, \end{aligned} \quad (20)$$

### Выводы:

1. Предцентральным слоем (отличия от центрального слоя):

- средняя эффективная нефтенасыщенность на 5% больше, чем в центральном слое;
- давление на 45 % выше, чем в центральном слое (МПА);
- технологическая температура одинаковая (Т°С);
- давление насыщения одинаковое (МПА);
- газосодержащие на 34,5 % выше, чем в центральном слое (м<sup>3</sup> \т);
- плотность на 2,2 % меньше, чем в центральном слое (г\см<sup>3</sup>);
- вязкость на 67 % меньше, чем в центральном слое (мпа\*с), а в зоне ВНК на 85,7% меньше, чем в центральном слое.

2. Когда резонанс наступит одновременно от движения активного внешнего и реактивного внутреннего нагружения и пульсации на торцах зон охлаждения при неоднородных граничных условиях по временным координатам, в зоне охлаждения появляется локальная вакуумная область от сосредоточенного тепло-волнового удара крутильного момента.

3. Внутренняя турбулентная область занимает около 15-20% толщины пограничного слоя, велика диссипация энергии, составляющая около 75% полной диссипации.

4. Между турбулентным движением предцентрального и центрального слоев имеются некоторые сходства из-за того, что технологическое давление насыщения (МПА) и технологическая температура (Т0С) одинаковы.

5. В трубе с прозрачным покрытием нет взаимодействия с нетроболевым потоком, нет области перемежаемости с предцентральной областью. Полный поток массы через любое поперечное сечение для стационарных внутренних течений постоянен.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Расторгуев Б.С. К вопросу об определении зависимостей для диссипативных сил в уравнениях колебаний // Строительная механика и расчет сооружений. 1983. – № 6. – С. 41-45.

2 Цейтлин. А.И. Егорова О.Д. Гармонические колебания многомассовых систем с частотно-независимым внутренним трением, описываемым комплексной и упруговязкой моделями. Исследования по динамике, Казахской ССР. 1984. С.32-47.

3 Божанов Е.Т., Ержанов Ж.С. Исследование проблем устойчивости упругих тел гибких пластин и оболочек и их приложения. Монография. – Алматы: Изд-во Высшая школа Казахстана, 2001. – 300 с.

4 Цейтлин А.И., Кусаинов А.А. Методы учета внутреннего трения в динамических расчетах конструкций. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1987. – 237 с.

5 Божанов Е. Т., Тулешева Г. А., Ибраимкулов А. М. Моделирование физических процессов: учебное пособие. – Алматы: КазННТУ, 2016. – Ч. 2. – 2016. – 88 с.

6 Божанов Е.Т., Толганбаев А.Ж., Велямов Т.Т., Макмут Д. «Моделирование процесса перекачки нефтяной смеси разной вязкости по одному трубопроводу при неустановившемся тепловом поле». Сборник материалов МНМК «Современные концепции науки и образования», Алматы, МОК (КазГАСА), 2017, С. 51-55.

7 Божанов Е.Т., Буганова С. Н., Велямов Т.Т., Толганбаев А.Ж. Исследование процесса транспортировки нефти по одному трубопроводу с помощью модифицированной гелиоустановки методом тепловолнового процесса // Вестник КазГАСА. – 2017. – № 2. – С. 253-257.

#### REFERENCES

1 Rastorguev B.S. K voprosu ob opredelenii zavisimostej dlya dissipativnyh sil v uravneniyah kolebanij // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1983. № 6. S. 41-45.

2 Cejtlin. A.I. Egorova O.D. Garmonicheskie kolebaniya mnogomassovyh sistem s chastotno-nezavisimym vnutrennim treniem, opisyyvaemym kompleksnoj i uprugovyazkoj modelyami. Issledovaniya po dinamike, Kazahskoj SSR. 1984. S.32-47.

3 Bozhanov E.T., Erzhanov ZH.S. Issledovanie problem ustojchivosti uprugih tel gibkih plastin i obolochek i ih prilozheniya. Monografiya. –Almaty: Izd-vo Vysshaya shkola Kazahstana, 2001. – 300 s.

4 Cejtlin A.I., Kusainov A.A. Metody ucheta vnutrennego treniya v dinamicheskikh raschetah konstrukcij. - Alma-Ata: Nauka KazSSR, 1987. – 237 s.

5 Bozhanov E. T., Tulesheva G. A., Ibraimkulov A. M. Modelirovanie fizicheskikh processov: uchebnoe posobie. –Almaty: KazNITU, 2016 – CH. 2. – 2016. – 88 s.

6 Bozhanov E.T., Tolganbaev A.ZH., Velyamov T.T., Makmut D. «Modelirovanie processa perekachki neftyanoj smesi raznoj vyazkosti po odnomu truboprovodu pri neustanovivshemysya

тепловом поле». Sbornik materialov MNMK «Sovremennye koncepcii nauki i obrazovaniya», Almaty, MOK (KazGASA), 2017, S. 51-55.

7 Bozhanov E. T., Bуганова S. N., Velyamov T. T., Tolganbaev A. ZH. Issledovanie processa transportirovki nefi po odnomu truboprovodu s pomoshch'yu modificirovannoj gelioustanovki metodom teplovolnovogo processa // Vestnik KazGASA. – 2017. – № 2. – S. 253-257.