

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI  
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

МЕХАНИКА  
МУАММОЛАРИ

O‘ZBEKISTON  
JURNALI

2  
2016

УЗБЕКСКИЙ  
ЖУРНАЛ

ПРОБЛЕМЫ  
МЕХАНИКИ

*Журнал под таким названием издается с января 1992 г.*

Ташкент – 2016

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

*Главный редактор* - акад. АН РУз Т.Р. РАШИДОВ  
*Зам. главного редактора* - акад. АН РУз Р.Г. МАХКАМОВ  
*Зам. главного редактора, и.о. секретаря* – докт. техн. наук, проф. Г.Х. ХОЖМЕТОВ

*Члены редколлегии:* докт. техн. наук, проф. А. АБДУСАТТАРОВ,  
докт. физ.-мат. наук Р.А. АБИРОВ, докт. техн. наук, проф. Р.И. БАЙМЕТОВ,  
докт. техн. наук Г.А. БАХАДИРОВ, докт. физ.-мат. наук, проф. А.Б. БЕГМАТОВ,  
докт. техн. наук А.Д. ДАМИНОВ, докт. техн. наук, проф. А. ДЖУРАЕВ,  
докт. физ.-мат. наук, проф. Н.А. КОРШУНОВА, докт. техн. наук, проф. Ш. МАМАТКУЛОВ,  
докт. физ.-мат. наук, проф. Б.М. МАРДОНОВ, докт. техн. наук, проф. Э.Ж. МАХМУДОВ,  
докт. техн. наук, проф. А.А. РИЗАЕВ, докт. техн. наук, проф. З. СИРОЖИДДИНОВ,  
докт. физ.-мат. наук, проф. Б.Х. ХУЖАЁРОВ, докт. техн. наук, проф. А.А. ШЕРМУХАМЕДОВ,  
докт. техн. наук, проф. Ш.С. ЮЛДАШЕВ, канд. техн. наук Х.С. САГДИЕВ

*В работе редколлегии принимают участие:*

докт. техн. наук, проф. А. АБДУЖАББАРОВ,  
докт. техн. наук, проф. Е.А. ИСАХАНОВ

*Адрес редакции:*  
100125, Ташкент, Академгородок, Дурмон йули, 31.  
Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз

*Телефон:* + 99871 262-78-34

*Факс:* +99871 262-71-52

*E-mail:* [tur.rashidov@list.ru](mailto:tur.rashidov@list.ru)

*Web-site:* [www.jpm.uz](http://www.jpm.uz)

Редактор: Н.А. Нишонов

Технический редактор: Е.В. Ан

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации Республики Узбекистан 22.12.2006 г.  
Регистрационный номер 0050.

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УЧАСТКОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ТЯГИ В СЛУЧАЕ НЕКРУГОВОЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧИ ТРЁХ ТЕЛ

Существует проблема оптимизации движения точки переменной массы (центр масс космического аппарата) в гравитационном поле. Вариационная задача в постановке Лоудена [1] заключается в определении силы тяги и оптимальных траекторий точки, движущейся с ограниченным секундным расходом массы  $m$  ( $0 \leq m(t) \leq \tilde{m}$ ) и с постоянной относительной скоростью истечения продуктов сгорания  $c$ . Известно, что основная часть проблемы сводится к интегрированию гамильтоновой системы четырнадцатого порядка [2].

Точка массы  $M(t)$  движется в гравитационном поле двух центров притяжения, массы которых  $M_1$  и  $M_2$  соизмеримы ( $M \ll M_2 < M_1$ ) и для удобства названных Землёй и Луной. Точка с массой  $M$  не оказывает воздействия на движение центров притяжения. Данная статья является продолжением работы [3], в которой рассмотрена круговая ограниченная задача трех тел. Здесь же предполагается, что Луна движется относительно Земли по известной эллиптической орбите с эксцентриситетом  $e$  и параметром  $p$

$$r_1 = \frac{p}{1 + e \cos \theta}. \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение движения точки имеет следующий вид [4]:

$$\frac{d^2 \tilde{r}}{dt^2} = \frac{cm}{M} \tilde{e} - \frac{\mu_1}{\tilde{r}^3} \tilde{r} - \frac{\mu_2}{\rho^3} (\tilde{r} - \tilde{r}_1) - \frac{\mu_2}{r_1^3} \tilde{r}_1, \quad \tilde{\rho} = \tilde{r} - \tilde{r}_1.$$

Здесь  $\tilde{r}$  и  $\tilde{r}_1$  – геоцентрические радиус-векторы соответственно точки и Луны;  $\theta$  – истинная аномалия Луны;  $\tilde{e}$  – единичный вектор направления силы тяги;  $\mu_1, \mu_2$  – гравитационные параметры Земли и Луны соответственно. Считаем, что при  $t_0 = 0$  Луна находилась в своём перигеуме ( $\theta = 0$ ). Угол  $\theta$  как функцию времени можно найти, используя уравнение Кеплера.

Рассмотрим участки промежуточной тяги (ПТ) задачи о минимизации характеристической скорости [1]. Введём обозначения:  $v_1, v_2, v_3$  – составляющие скорости  $\vec{v}$  точки в цилиндрической системе координат  $r, \varphi, z$  (угол  $\varphi$  отсчитывается от направления на перигеум орбиты Луны);  $\lambda_i$  ( $i = \overline{1,7}$ ) – множители, сопряженные координатам  $x_i$ :  $v_1, v_2, v_3, r, \varphi, z, M$ ;  $\vec{\lambda} = \vec{\lambda}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  – базис-вектор. На участках ПТ ( $0 < m < \tilde{m}$ )  $\tilde{e} = \vec{\lambda}$ .

Дифференциальные уравнения вариационной задачи имеют гамильтонову форму [2]

$$\dot{x}_i = \frac{\partial H}{\partial \lambda_i}, \quad \dot{\lambda}_i = -\frac{\partial H}{\partial x_i} \quad (i = \overline{1,2,3}) \quad (2)$$

с гамильтонианом

$$H = \lambda_1 \left( \frac{cm}{M} \lambda_1 - \frac{\mu_1 r}{\tilde{r}^3} - \frac{\mu_2}{\rho^3} (r - r_1 \cos \alpha) - \frac{\mu_2}{r_1^2} \cos \alpha + \frac{v_2^2}{r} \right) + \lambda_2 \left( \frac{cm}{M} \lambda_2 + \frac{\mu_2}{\rho^3} r_1 \sin \alpha - \frac{\mu_2}{r_1^2} \sin \alpha - \frac{v_1 v_2}{r} \right) + \lambda_3 \left( \frac{cm}{M} \lambda_3 - \frac{\mu_1 z}{\tilde{r}^3} - \frac{\mu_2 z}{\rho^3} \right) + \lambda_4 v_1 + \lambda_5 \frac{v_2}{r} + \lambda_6 v_6 - \lambda_7 m,$$

где  $\tilde{r}^2 = r^2 + z^2$ ,  $\rho^2 = r^2 + z^2 + r_1^2 - 2rr_1 \cos \alpha$ ,  $\alpha = \theta - \varphi$ .

Система (2) неавтономная. Для неё известны только два интеграла на участках ПТ [1;2]:  $\lambda_7 M = c$ ;  $\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 1$ . Для определения частных решений воспользуемся методом Докшевича

[4]. В случае движения КА в плоскости орбиты Луны  $z = 0$ ,  $v_3 = 0$ ,  $\lambda_3 = 0$ ,  $\tilde{r} = r$ . Следуя работе [4], получим

$$\lambda_4(2\lambda_1 v_2 - \lambda_2 v_1 + \lambda_5)(\lambda_1 r - \lambda_1 r_1 \cos \alpha - \lambda_2 r_1 \sin \alpha)(\lambda_2 \cos \alpha - \lambda_1 \sin \alpha)(\lambda_1 r_1 \sin \alpha - \lambda_2 r_1 \cos \alpha + \lambda_2 r) = 0. \quad (3)$$

Инвариантные соотношения (3) приводят к различным частным решениям.

**Вариант 1.** Пусть в (3) обращаются в нуль одновременно выражения

$$2\lambda_1 v_2 - \lambda_2 v_1 + \lambda_5 = 0, \quad \lambda_1 r - \lambda_1 r_1 \cos \alpha - \lambda_2 r_1 \sin \alpha = 0. \quad (4)$$

Тогда из уравнения  $\dot{\lambda}_2 = -\frac{\partial H}{\partial v_2}$  следует, что  $\dot{\lambda}_2 = 0$ . Из соотношений  $\lambda_1^2 + \lambda_2^2 = 1$ ,  $\lambda_1 \dot{\lambda}_1 + \lambda_2 \dot{\lambda}_2 = 0$

заключаем, что  $\lambda_1 \dot{\lambda}_1 = 0$ .

Рассмотрим случай  $\lambda_2 = 0$ . Тогда  $\lambda_1 = \pm 1$  (тяга радиальная). Из (4) имеем

$$r = r_1 \cos \alpha, \quad r < r_1, \quad (5)$$

т. е. КА находится в области между Землёй и Луной. Из (4) получим

$$\lambda_5 = -2\lambda_1 v_2, \quad (6)$$

а из уравнения  $\dot{\lambda}_1 = -\frac{\partial H}{\partial v_1}$  следует, что  $\lambda_4 = 0$ . Тогда уравнение  $\dot{\lambda}_4 = -\frac{\partial H}{\partial r}$  приводится к соотношению

$\lambda_1 \left( \frac{\mu_1}{r^3} + \frac{\mu_2}{\rho^3} + \frac{v_2^2}{r^2} - \frac{3\mu_1}{r^3} \right) + \lambda_5 \frac{v_2}{r^2} = 0$ . Исключая  $\lambda_5$  при помощи (6), получим

$$\frac{v_2^2}{r^2} = \frac{\mu_2}{\rho^3} - \frac{2\mu_1}{r^3}. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение  $\dot{\lambda}_5 = -\frac{\partial H}{\partial \varphi}$  с учетом (5) и (6) запишем в виде

$2\dot{v}_2 = \mu_2 r_1 \sin \alpha \left( \frac{1}{\rho^3} - \frac{1}{r_1^3} \right)$ , сравнивая которое с уравнением  $\dot{v}_2 = \frac{\partial H}{\partial \lambda_2}$ , получим  $\dot{v}_2 = \frac{v_1 v_2}{r}$ . Интегрируя, будем иметь  $v_2 = \frac{v_{20}}{r_0} r_1 \cos \alpha$ . Следовательно, трансверсальная составляющая скорости  $v_2$

изменяется пропорционально расстоянию  $r$  до неподвижного центра (если  $v_{20} > 0$ , то  $v_2 > 0$ ).

Так как  $v_2 = r\dot{\varphi}$ , то  $\dot{\varphi} = \frac{v_{20}}{r_0} = \omega = const$ . Тогда

$$\varphi = \omega t + \varphi_0, \quad v_2 = r\omega. \quad \alpha = \theta - \omega t - \varphi_0. \quad (8)$$

Угол  $\varphi$  растёт (при  $v_{20} > 0$ ) или убывает (при  $v_{20} < 0$ ) пропорционально времени. Подставим (8)

в (7), получим  $\omega^2 = \frac{\mu_2}{\rho^3} - \frac{2\mu_1}{r^3} > 0$ . Поскольку  $2\mu_1 > \mu_2$ , то  $\rho < r$ . Из (5) имеем  $\rho^2 = r_1^2 - r^2$ .

Таким образом,  $r$  и  $\rho$  – катеты прямоугольного треугольника, угол  $\alpha$  всё время движения по участку ПТ – острый и  $tg \alpha = \frac{\rho}{r} < 1$ ,  $\alpha < \frac{\pi}{4}$ . Последнее условие даёт ограничение на начальную скорость, начальное положение точки и на длительность участка ПТ:

$$-\frac{\pi}{4} < \varphi_0 < 0, \quad 0 \leq \theta < \omega t + \frac{\pi}{4} + |\varphi_0|, \quad r_0 = r_p, \quad r_0 = r_p \cos \alpha_0 = a(1-e) \cos \varphi_0, \quad \alpha_0 = \varphi_0.$$

КА движется в сторону движения Луны, отставая от неё на угол  $\alpha$ , изменяющийся с течением времени (рис.1).

Время движения можно выразить через истинную аномалию Луны  $\theta$ , используя уравнение Кеплера при малом эксцентриситете [5]:

$$t = \sqrt{\frac{a^3}{\mu_1}} (\theta - e \sin \theta).$$

Тогда

$$\alpha(\theta) = \theta - \omega \sqrt{\frac{a^3}{\mu_1}} (\theta - e \sin \theta) + |\varphi_0|, \quad r(\theta) = \frac{p \cos \alpha(\theta)}{1 + e \cos \theta}.$$

На рис.2 дан график зависимости угла рассогласования  $\alpha$  от  $\theta$  (в радианах), откуда следует, что угол  $\alpha$  с течением времени убывает. Участки ПТ существуют только при движении Луны от перигея до углов  $\theta < 123^\circ$ . На рис.3 дан график изменения расстояния  $r(\theta)$  (в км) до неподвижного центра притяжения от угла  $\theta$  (в радианах). Расстояние  $r(\theta)$  при углах  $33^\circ < |\varphi_0| < 45^\circ$  растёт для  $\theta < 68^\circ$  и убывает для  $68^\circ < \theta < 123^\circ$ . Для углов  $|\varphi_0| < 33^\circ$  расстояние  $r(\theta)$  растёт при всех  $\theta$ .

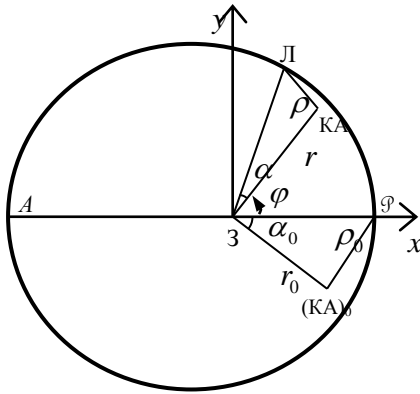


Рис.1. Положение КА в начальный и произвольный момент времени

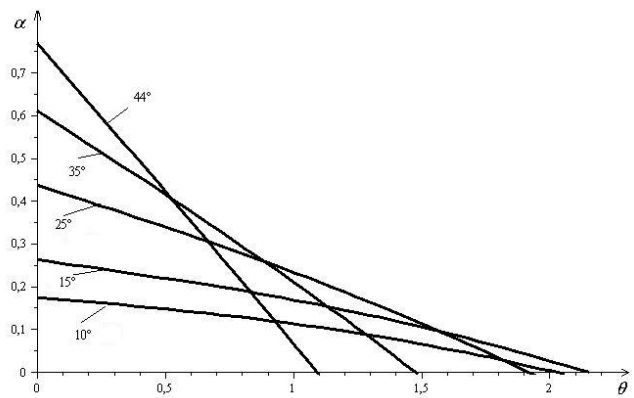


Рис. 2. Зависимость угла рассогласования  $\alpha$  от  $\theta$  при различных начальных углах  $|\varphi_0|$

Радиальную и тангенциальную составляющие скорости точки можно найти, используя формулы

$$v_1(\theta) = \dot{r} = \dot{r}_1 \cos \alpha - r_1 \dot{\alpha} \sin \alpha,$$

$$\dot{r}_1 = \sqrt{\frac{\mu_1}{p}} e \sin \theta,$$

$$\dot{\alpha} = \dot{\theta} - \omega = \sqrt{\frac{\mu_1}{p^3}} (1 + e \cos \theta)^2 - \frac{v_{20}}{r_0},$$

$$v_2 = \frac{v_{20}}{r_0} \frac{p}{1 + e \cos \theta} \cos(\theta - \omega t - \varphi_0).$$

Закон изменения массы можно определить

из уравнения  $\dot{v}_1 = \frac{\partial H}{\partial \lambda_1}$ . Таким образом, масса изменяется по показательному закону.

**Вариант 2.** Пусть в (3) обращается в нуль следующее соотношение:

$$\lambda_2 \cos \alpha - \lambda_1 \sin \alpha = 0. \quad (9)$$

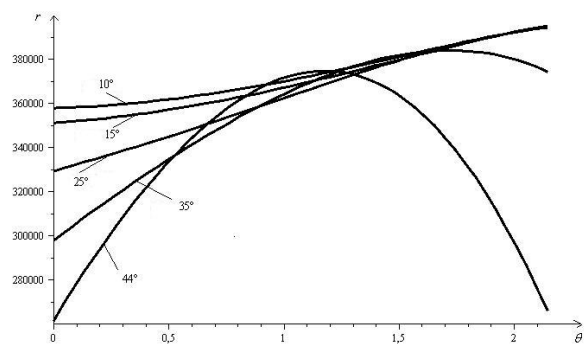


Рис. 3. Зависимость  $r$  от  $\theta$  для различных начальных значений угла  $|\varphi_0|$

Тогда  $\lambda_1^2 = \cos^2 \alpha$ ,  $\cos \alpha (\lambda_2 \pm \sin \alpha) = 0$ . Пусть  $\cos \alpha = 0$ ,  $\lambda_1 = 0$ ,  $\lambda_2 = 1$ , т.е.  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ . КА от-  
стаёт от Луны на  $90^\circ$ . Тогда

$$\alpha = \theta - \varphi, \quad \dot{\varphi} = \dot{\theta} = \frac{\sqrt{\mu_1 p}}{r_1^2} = \sqrt{\frac{\mu_1}{p^3}} (1 + e \cos \theta)^2, \quad (10)$$

$$\ddot{\varphi} = \sqrt{\frac{\mu_1}{p^3}} 2(1 + e \cos \theta)(-e \sin \theta \dot{\theta}) = -2 \frac{\mu_1}{r_1^3} e \sin \theta. \quad (11)$$

Из уравнений для множителей ( $\dot{\lambda}_1 = -\frac{\partial H}{\partial v_1}$  и  $\dot{\lambda}_2 = -\frac{\partial H}{\partial v_2}$ ) получим

$$\dot{\lambda}_4 = \ddot{\varphi}, \quad \dot{\lambda}_5 = v_1 \quad \text{или} \quad \dot{\lambda}_5 = \dot{r}. \quad (12)$$

Из уравнений для множителей ( $\dot{\lambda}_4 = -\frac{\partial H}{\partial r}$  и  $\dot{\lambda}_5 = -\frac{\partial H}{\partial \varphi}$ ) имеем

$$\dot{\lambda}_4 = \frac{3\mu_2}{\rho^5} r r_1, \quad \dot{\lambda}_5 = -\frac{3\mu_2}{\rho^5} r r_1^2, \quad (13)$$

откуда следует, что  $\dot{\lambda}_5 \neq 0$ , а из (12) следует, что радиальная составляющая скорости  $v_1$  отлична  
от постоянной величины. Сравнивая (12), (13) и (11), получим

$$\frac{3\mu_2}{\rho^5} r r_1 = -2 \frac{\mu_1}{r_1^3} e \sin \theta. \quad (14)$$

Таким образом, участки ПТ существуют только для углов  $\pi < \theta < 2\pi$  (рис.4).

Исключая  $\rho^5$  из второго соотношения (13) и из (14), получим

$$\dot{v}_1 = \frac{2\mu_1}{r_1^2} e \sin \theta. \quad (15)$$

Подставляя  $\frac{d\theta}{dt}$  из (10), будем иметь уравнение  $dv_1 = 2\sqrt{\frac{\mu_1}{p}} e \sin \theta d\theta$ , интегрируя которое,

определим радиальную составляющую скорости  $v_1 = -2e\sqrt{\frac{\mu_1}{p}} \cos \theta + c_1$ , где  $c_1$  – произвольная

постоянная. Таким образом,  $v_1$  убывает с течением времени. Для определения закона изменения  
расстояния  $r(\theta)$  преобразуем последнее соотношение к виду

$$dr = \left( \sqrt{\frac{p}{\mu_1}} \frac{c_1 p}{(1 + e \cos \theta)^2} - 2pe \frac{\cos \theta}{(1 + e \cos \theta)^2} \right) d\theta.$$

Интегрируя, получим

$$r - c_2 = \frac{pe \sin \theta}{(1 - e^2)(1 + e \cos \theta)} \left( -2 - c_1 \sqrt{\frac{p}{\mu_1}} \right) + \frac{2p}{(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}} \arctg \sqrt{\frac{1 - e}{1 + e}} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \left( 2e^2 + c_1 \sqrt{\frac{p}{\mu_1}} \right). \quad (16)$$

График (рис.5) показывает характер изменения расстояния  $r(\theta)$  в случае  $c_1 = 0$ , т.е. при конкретном начальном значении радиальной составляющей скорости. Числовые значения взяты для Луны:  $r_0 = 260000$  км,  $\pi < \theta < 2\pi$ .

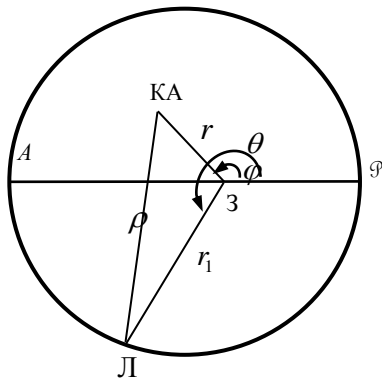


Рис.4. Положение КА при  $\alpha = \frac{\pi}{2}$

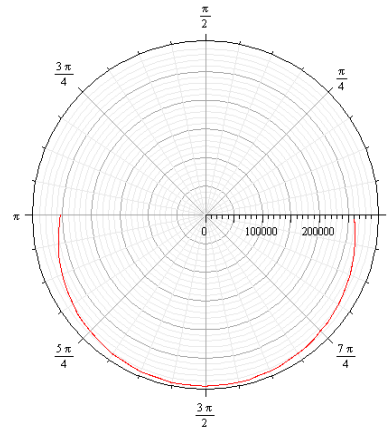


Рис.5. Зависимость величины расстояния  $r$  от истинной аномалии орбиты Луны  $\theta$

Закон изменения массы можно найти, исключая  $\rho^3$  из первого и второго уравнений системы (2):

$$\frac{cM}{M} = \dot{v}_1 \frac{r_1}{r} + \frac{\mu_1}{r^3} r_1 + r\ddot{\phi} + \frac{\mu_2}{r_1^2} - \dot{\phi}^2 r_1 + 2v_1\dot{\phi} > 0 \quad (\text{для убывания массы}) \quad (17)$$

$$\text{Здесь } v_2 = r\dot{\phi}, \quad \dot{v}_2 = \dot{r}\dot{\phi} + r\ddot{\phi} = v_1\dot{\phi} + r\ddot{\phi}, \quad v_1v_2 = v_1r\dot{\phi}.$$

Подставляя в (17)  $\dot{\phi}, \ddot{\phi}$  из (10) и (11),  $r_1$  из (1),  $\dot{v}_1$  из (15),  $r(\theta)$  из (16), получим  $\frac{dM}{dt} = -\frac{1}{c} f(\theta)d\theta$ . Для убывания массы необходимо, чтобы функция  $f(\theta)$  была положительной.

Таким образом, масса изменяется по показательному закону.

Работа выполнена в рамках гранта Ф-4-29 МВССО РУз.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лоуден Д. Ф. Оптимальные траектории для космической навигации. М.: Мир, 1966.
- [2] Азизов А. Г., Коршунова Н. А. Вариационные задачи механики космического полета. Учебное пособие. Ташкент.: ТашГУ, 1991.
- [3] Коршунова Н. А., Кодирова Ш. Ш., Рuzматов М. И. Новые частные решения для активных участков в случае круговой ограниченной задачи трёх тел // Проблемы механики. 2015. № 1. С.3–7.
- [4] Коршунова Н. А., Шерниёзов Х. О. Стабилизация движения точки на участках промежуточной тяги в случае ограниченной задачи трёх тел // Проблемы механики. 2014. № 2. С.5-8.
- [5] Охочимский Д. Е., Сихарулидзе Ю. Г. Основы механики космического полета. М.: Наука, 1990.

Национальный университет Узбекистана  
им. Мирзо Улугбека

Дата поступления  
19.04.2016

**Н.А. Коршунова, М.И. Рuzматов. Чегараланган уч жисм масаласининг доиравий бўлмаган ҳаракати ҳолида оралиқ тортиши кучи қисмлар учун аналитик ечимлар**

Чегараланган уч жисм масаласининг доиравий бўлмаган ҳаракати ҳолида оралиқ тортиши қисмида ҳаракатланувчи нукта учун характеристик тезликни минимизациялаш масаласининг инвариант муносабатлари ва янги хусусий аналитик ечимлари Докшевич усули ёрдамида топилган.

**N.A. Korshunova, M.I. Ruzmatov. Analytical solutions for intermediate thrust arcs in the case of the non circular restricted three-body problem**

Based on Dokshevich's method the invariant relations and the new particular analytical solutions for intermediate thrust arcs for the problem of minimizing characteristic velocity of point in the case of the non circular restricted three-body problem were found.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ВЯЗКОИНЕРТНО ДЕФОРМИРУЕМОЙ СМЕСИ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДВИЖЕНИЯ ЕЕ В КОЛЬЦЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В многофазных и многокомпонентных текучих средах ввиду наличия в них частиц с различными свойствами явления внутренних процессов переноса физических субстанций значительно сложнее и в большинстве случаев они не могут быть описаны только законами упругости Гука и вязкого трения Ньютона. Дисперсные фазы в жидкостях оказывают существенное влияние на реологические и гидродинамические свойства смеси тем сильнее, чем больше их объемное содержание. Многочисленными исследованиями установлено, что увеличение объемного содержания частиц в жидкостях приводит не только к изменению вязкости смеси, но и к проявлению совершенно новых свойств и закономерностей движения смеси. При определенных концентрациях дисперсной фазы и скорости движения смеси в них проявляются процессы образования, и разрушения молярных структур. Вследствие этих процессов меняются гидродинамические, реологические параметры и свойства смеси.

Своевременное и более точное установление изменяющихся значений реологических и гидродинамических параметров сред, используемых в технике и технологии, является важнейшим фактором предупреждения аварийных ситуаций, осложнений, а также стимулом усовершенствования техники и технологических процессов. В связи с этим появляется необходимость исследования реологических свойств сред и создания соответствующих моделей напряженно деформационных состояний (НДС) для описания и установления закономерностей вышеупомянутых процессов переноса.

В исследованиях течений сред, содержащих несколько фаз, находящихся в различных агрегатных состояниях, в последние годы развиваются представления о том, что в этих средах перенос физической субстанции осуществляется не только на молекулярном, но и на молярном уровне.

В работах [1–3] установлена новая закономерность, заключающаяся в пропорциональности тензора напряжения тензору ускоренной деформации и тем самым установлено новое свойство сред – деформируемость сред ускоренно и по инерции.

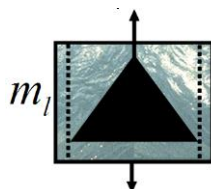


Рис. 1. Элемент механической модели деформационной инертности

Механический элемент, соответствующий этому закону, состоит из массивного конуса вращения, находящегося в цилиндре с перфорированными стенками, который в свою очередь находится в цилиндрическом непроницаемом сосуде. При погружении или всплывании массивного конуса вращения происходит вытеснение жидкости из пор внутреннего цилиндра в пространство между цилиндрами, а оттуда – через поры во внутренний цилиндр. В этом узком пространстве среда движется в сторону, противоположную движению конуса, и далее – во внутренний цилиндр, компенсируя продвинутый объем конуса. В этом процессе среда течет, ускоренно деформируясь. Чем больше линейная плотность среды, тем больше сопротивление. Элемент механической модели деформационной инертности приведен на рис.1. Реологический закон при постоянстве объема среды будет иметь вид [1]:

$$\tau = m_e \ddot{\gamma} \quad , \quad (1)$$

где  $\tau$  – напряжение;  $\ddot{\gamma}$  – ускоренная деформация;  $m_e$  – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность линейной плотности (кг/м) и прямо пропорциональный объемной плотности, помноженной на квадрат динамического расстояния.

На основе предложенной механической модели с параллельным и последовательным соединением с механическими моделями Гука и Ньютона получены множества релаксационных и ретардационных моделей для описания реологически сложных сред, наделенных упругими, вязкими и деформационно инертными свойствами. Установлено существование двух новых периодов релаксации и ретардации, равных отношению коэффициента линейной плотности к динамической вязкости и корню квадрата отношения  $m_e$  – коэффициента линейной плотности к коэффициенту



упругости соответственно.

В статье рассматриваются ретардационная модель состояния двухфазной среды и уравнение НДС среды, учитывающей объемные содержания реологических свойств фаз, с целью более адекватного описания процессов и установления закономерностей деформации и течения.

Представим среду [4], состоящую из частиц ньютоновской жидкости, обладающих вязкими свойствами, твердых частиц, обладающих упругими свойствами, а также связанных в комплексе большого количества того и другого сортов частиц, проявляющих свойства деформационной инертности. Эти свойства определяются динамической вязкостью жидкости  $\mu$ , коэффициентом линейной плотности молей  $m_l$ , а также коэффициентом упругости  $G$  твердых частиц.

Если предположить, что в выделенном объеме находятся два сорта частиц, они распределены случайным образом и каждый сорт частиц занимает определенную долю объема, то эта часть объема будет обладать свойствами тех частиц, которые в нем находятся, например, свойством, выражающимся истинной динамической вязкостью  $\mu_i$ , а вторая часть выделенного объема, например, деформационной инертностью, определяющей это свойство истинным коэффициентом линейной плотности  $m_{li}$ . Если из выделенного объема изъять молярные частицы, а жидкость распределить по всему объему, то она будет иметь свойство жидкости, выражаемой приведенной динамической вязкостью  $\mu_n$ . Таким же образом, если из выделенного объема, в котором находятся частицы вязкой жидкости и молярные частицы, изъять частицы вязкой жидкости и считать, что молярные частицы, имевшие истинные коэффициенты линейной плотности  $m_{li}$ , распределены по всему выделенному объему, то эта среда в этом состоянии будет иметь коэффициент приведенной плотности  $m_n$ . Отношения приведенных свойств к истинным свойствам, т.е.  $\frac{\mu_n}{\mu_i} = f_1$  и  $\frac{m_{ln}}{m_{li}} = f_2$

– есть нечто иное, как объемная доля вязких и деформационно инертных свойств смеси соответственно. Это же рассуждение приемлемо для упругого свойства твердых частиц. В случае нахождения их в выделенном объеме получим объемную долю упругих свойств в смеси в виде  $\frac{G_n}{G_i} = f_3$ .

Если в выделенном объеме отсутствуют частицы сред, имеющие деформационные свойства, кроме сред, рассмотренных выше, то будем иметь соотношение

$$\frac{\mu_n}{\mu_i} + \frac{m_{ln}}{m_{li}} + \frac{G_n}{G_i} = 1, \quad \text{или } f_1 + f_2 + f_3 = 1. \quad (2)$$

Так как  $\mu_n = f_1 \mu_i$ ,  $m_n = f_2 m_{li}$  и  $G_n = f_3 G_i$ , то в смеси тензоры напряжения по закону Гука, Ньютона и деформационной инертности выразятся следующим образом:

$$\tau_{ij} = f_1 \mu_i \dot{\gamma}_{ij}, \quad \tau_{ij} = f_2 m_{li} \ddot{\gamma}_{ij}, \quad \tau_{ij} = f_3 G_i \gamma_{ij}, \quad (3)$$

где  $\tau_{ij}$  – компоненты тензора напряжений;  $\gamma_{ij}$ ,  $\dot{\gamma}_{ij}$  и  $\ddot{\gamma}_{ij}$  – компоненты тензоров деформации, скоростей и ускоренной деформации соответственно.

Параллельным и последовательным соединением механических моделей Гука, Ньютона и деформационной инертности (см. рис. 1) получим множества релаксационных и ретардационных механических моделей и им соответствующие реологические уравнения модели для описания реологически сложных сред, наделенных упругими, вязкими и деформационно-инертными свойствами.

В данной статье рассматривается ретардационная вязкоинертно деформируемая смесь и решение задачи движения ее в кольцевом пространстве. Параллельным соединением механических моделей Ньютона и деформационной инертности (см. рис. 1) получим механическую модель ретардационной вязкоинертно деформируемой среды (рис. 2). Соответствующая этой модели реологическая формула имеет вид

$$\tau = f_1 \mu_i (\dot{\gamma} + t_{ret}(kh_1) \ddot{\gamma}), \quad (4)$$

где  $t_{ret}(kh_1) = \frac{f_2 m_{li}}{f_1 \mu_i}$  – время вязкого последействия (ретардации).

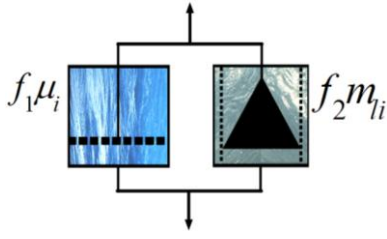


Рис. 2. Механическая модель ретардационной вязкоинертной деформируемой среды

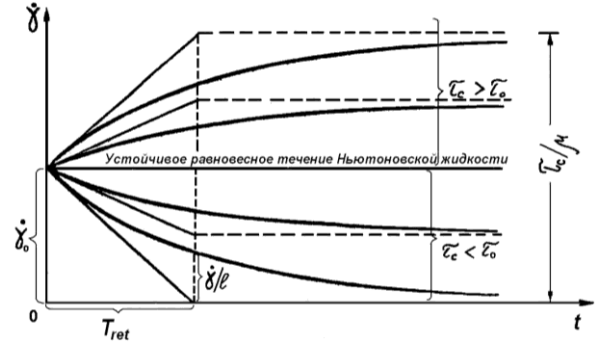


Рис. 3. Ретардационная модель жидкости

Решением уравнения (4) будет

$$\dot{\gamma} = e^{\frac{f_1 \mu_i}{f_2 m_{ei}}} \left( \dot{\gamma}_0 + \frac{1}{f_2 m_{ei}} \int \tau e^{-\frac{f_1 \mu_i}{f_2 m_{ei}}} dt \right), \quad (5)$$

где  $\dot{\gamma}_0$  – начальная скорость деформации.

Если в решении (5)  $\tau = \tau_0 = const$ , то получим

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau_c}{f_1 \mu_i} + \left( \frac{\tau_0 - \tau_c}{f_1 \mu_i} \right) \exp\left(-\frac{t}{t_{ret(Kh)}}\right). \quad (6)$$

Если в решении (5)  $\tau_c = \tau_0 = \mu \dot{\gamma}_0$ , то мы имеем дело с равновесием как для жидкости Ньютона  $\tau_c = \mu \dot{\gamma}$ . Следовательно, ретардационная модель (4) является моделью жидкости, а ее линейная плотность – плотностью молярных частиц жидкости. Если  $\tau_c < \tau_0$ , то скорость деформации постоянно уменьшается; если  $\tau_c > \tau_0$ , то скорость деформации возрастает с уменьшающейся скоростью (рис.3). Если  $t_{ret(Kh)}$  слишком велико, то вязкое последствие может восприниматься как медленный разгон жидкости, либо как неустановившееся течение.

При  $t \rightarrow \infty$  скорость деформации достигает значения  $\tau_c / \mu$ . Следовательно, скорость деформации в жидкости (6), описываемой ретардационной моделью (4), развивается не мгновенно, задерживается вследствие вязкого преддействия при нагрузке. Величина  $t_{ret(Kh)}$  представляет собой время вязкого преддействия.

Если снять напряжение  $\tau_c = 0$ , то скорость деформации по закону преддействия при возврате (или обратного вязкого преддействия) полностью исчезает при  $t \rightarrow \infty$ .

Если  $t_{ret(Kh)} = f_2 m_{eis} / f_1 \mu_i$  не слишком велико, то процесс практически завершается по истечении конечного промежутка времени.

Как видно из анализа решения (6) ретардационной модели (4), такие жидкости обладают некоторым дополнительным сопротивлением относительно вязкой Ньютоновской жидкости. Это свойство текучих и деформируемых сред в [1,3] именовано деформационной инертностью.

Таким образом, нами установлено, что решение реологического уравнения (4) описывает семейство кривых зависимости скорости деформации от времени и процессы задерживания вследствие вязкого преддействия при нагрузке, а при снятии напряжения скорость деформации по закону вязкого преддействия медленно уменьшается. Следовательно, скорость деформации среды не развивается мгновенно как в вязкой жидкости Ньютона, а задерживается вследствие вязкого преддействия при нагрузке.

Вышеполученное уравнение ретардирующей среды (4) используем при решении уравнения равновесия среды, для случая движения ее в круглом кольцевом пространстве.

Рассмотрим кольцевую трубу, ограниченную двумя концентрическими цилиндрами. Обозначим радиус внутреннего цилиндра через  $d$ , внешнего – через  $b$ .

Уравнения равновесия в цилиндрической системе координат будет иметь вид [5,6]:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \tau_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\tau_r - \tau_{\varphi\varphi}}{r} + \rho F_r &= 0, \\
\frac{\partial \tau_{\varphi r}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial z} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} + \rho F_\varphi &= 0, \\
\frac{\partial \tau_z}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{z\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \frac{\tau_{zr}}{r} + \rho F_z &= 0,
\end{aligned} \tag{7}$$

где  $\tau_{ij}$  – компоненты тензора напряжения;  $F_i$  – массовая сила;  $\rho$  – плотность среды.

Компоненты тензора напряжения являются линейными функциями от соответствующих компонент тензоров скоростей деформаций и компонент тензора ускоренной деформации [5–8].

Рассмотрим движение жидкости, определяемой вязкими и ускоренными деформациями, в цилиндрическом пространстве между соосными цилиндрами в стационарной квазиплоскопараллельной постановке. Пусть  $V_\varphi = 0$ ,  $V_r = \text{const}$ ,  $V_z = V_z(r)$ ,  $W_\varphi = 0$ ,  $W_z = W_z(r)$ ,  $F_i = 0$ . Здесь  $V_i$  – компоненты скоростей;  $W_i$  – компоненты ускорений;  $\frac{\partial P}{\partial z} = \text{const} = N$  – перепад давления.

В этом случае из системы уравнений (7) получим

$$\frac{\partial \tau_{zr}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \frac{r_{zr}}{r} = 0, \tag{8}$$

$$\text{где } \tau_{zz} = P, \quad \tau_{zr} = \mu \left( \frac{\partial V_z}{\partial r} + t_{ret(Kh)} \frac{\partial W_z}{\partial r} \right); \tag{9}$$

$\mu$  – вязкость среды;  $t_{ret(Kh)}$  – время ретардации. Подставив  $\tau_{zz}$  и  $\tau_{zr}$  из (9) в (8), найдем

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[ \mu \left( \frac{\partial V_z}{\partial r} + t_{ret(Kh)} \frac{\partial W_z}{\partial r} \right) \right] + \frac{\mu}{r} \left( \frac{\partial V_z}{\partial r} + t_{ret(Kh)} \frac{\partial W_z}{\partial r} \right) = N. \tag{10}$$

Уравнение (10) запишем в виде

$$\frac{m_i}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial W_z}{\partial r} \right) + \frac{\mu}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) = N. \tag{11}$$

Так как для рассматриваемого случая  $W_z = V_{r0} \frac{\partial V_z}{\partial r}$ , то с учетом этого уравнение (11) перепишем в виде

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} \right) + a \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) = \frac{ra}{\mu} N, \tag{12}$$

где  $a = \frac{\mu}{m_i V_{r0}}$ . Решение уравнения (12) получим в виде

$$V_z = \frac{N}{2\mu} r^2 \left( r - \frac{1}{a} \right) + \frac{C_2}{a} + C_3 e^{-ar} + C_1 \left\{ \frac{1}{a} (\ln r - e^{-ar} \ln / r) - e^{-ar} \left( r - \frac{ar^2}{4} + \frac{a^2 r^3}{18} \right) \right\}. \tag{13}$$

Граничными условиями будут:

$$V_z = 0 \text{ при } r = b, \quad V_z = 0 \text{ при } r = d, \quad \frac{\partial V_z}{\partial r} = 0 \text{ при } r = c, \tag{14}$$

где  $c$  – соответствует оси симметрии скорости.

Удовлетворяя условиям (14), из решения (13) находим  $V_z$  в виде

$$V_z = \frac{N}{2\mu} \left[ (r^2 - b^2) - \frac{2}{a} (r - b) + \frac{R_2}{m - n} R_3(r) + D \right] \tag{15}$$

$$\begin{aligned} \text{где } D &= \frac{2(e^{-ar} - e^{-ab})}{m-n} \left( \frac{m(ca-1) - nR_1}{a^2 e^{-ac}} - \frac{nR_1}{2} \right) - \frac{R_2 K}{m-n}, \quad R_1 = \frac{b^2 - d^2}{e^{-ad} - e^{-ab}} - \frac{2(b-d)}{e^{-ad} - e^{-ab}}; \quad R_2 = R_1 - \frac{2ca-1}{a^2 e^{-ac}}; \\ R_3 &= \frac{1}{a} (\ln r - e^{-ar} \ln / r) - e^{-ar} \left( r - \frac{ar^2}{4} + \frac{a^2 r^3}{18} \right); \quad K = \frac{1}{a} (\ln b - e^{-ab} \ln / b) - e^{-ab} \left( b - \frac{ab^2}{4} + \frac{a^2 b^3}{18} \right); \\ n &= (ae^{-ac})^{-1} \left\{ e^{-ac} \left( 1 - \frac{ac}{2} + \frac{a^2 c^3}{6} \right) - \frac{1}{a} \left( \frac{1}{c} + ae^{-ac} \ln c - \frac{e^{-ac}}{c} \right) - ae^{-ac} \left( c + \frac{ac^2}{4} + \frac{a^2 c^3}{18} \right) \right\}; \\ m &= (e^{-ad} - e^{-ab})^{-1} \left[ \frac{1}{a} \left( \frac{1}{c} (\ln d + ae^{-ad} \ln / d) - \frac{1}{a} (\ln b + ae^{-ab} \ln / b) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + e^{-ab} \left( b + \frac{ab^2}{4} + \frac{a^2 b^3}{18} \right) - e^{-ad} \left( d + \frac{ad^2}{4} + \frac{a^2 d^3}{18} \right) \right]. \end{aligned}$$

Расход в кольцевом пространстве определяется, как известно, из равенства  $Q = 2\pi \int_a^b V_z r dr$ .

Подставив в него значение  $V_z$  из (15) и произведя интегрирование, получим

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\pi N}{2\mu} \left\{ \frac{b^4 - d^4}{4} - \frac{b(b^3 - d^3)}{3} - \frac{2}{a} \left( \frac{b^4 - d^4}{3} - \frac{b(b^2 - d^2)}{2} \right) + \frac{2}{m-n} \left( \frac{m(ca-1) - nR_1}{a^2 e^{-ac}} - \frac{nR_1}{2} \right) \right. \\ &\cdot \left[ \left( \frac{1}{a} - 2 \right) \left( \frac{e^{-ar} - e^{-ab}}{a} - \frac{b^2 - d^2}{2} e^{-ab} \right) \right] - \frac{R_2 K}{m-n} \frac{b^2 - d^2}{2} + \frac{R_2}{m-n} \left[ \frac{b^2}{2} \ln b - \frac{d^2}{2} \ln d - \frac{b^2 - d^2}{4} + \right. \\ &\quad \left. + b \ln b e^{-ab} - \frac{d \ln d e^{-ad}}{d} + \frac{1}{a^2} (e^{-ab} - e^{-ad}) + \frac{1}{a^2} (b \ln b e^{-ab} - d \ln d e^{-ad}) - \frac{1}{a^2} (\ln b - \ln d) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{a^2} \sum_{v=1}^3 \frac{e(b^2 - d)}{V V_1} \right] + \left( b^2 - \frac{2b}{a} + \frac{2}{a^2} - \frac{b^3}{4} + \frac{ab^4}{18} \right) e^{-ad} - \left( d^2 - \frac{2d}{a} + \frac{2}{a^2} - \frac{d^3}{4} + \frac{ab^4}{18} \right) e^{-ad} \left. \right]. \end{aligned}$$

Численные расчеты скорости по формуле (15) показали, что при некоторых значениях  $N$  и  $a$  третье и четвертое слагаемые в правой части (15) малы по сравнению с первыми двумя членами. Для этих случаев

$$V_z = \frac{N}{2\mu} \left[ \frac{1}{2} (r^2 - b^2) - bKh(r-b) \right], \quad (16)$$

$$\text{где } Kh = \frac{1}{ab}, \quad a = \frac{\mu b}{b m_i V_{r0}} = \frac{1}{bKh}.$$

Сравнивая выражение (16), полученное в [9], с (25), которое имеет вид

$$V_z = \frac{N}{2\mu} (r^2 - b^2) - \frac{\tau_0}{\mu} (r-b), \quad (17)$$

определяем  $\tau_0$  в виде  $\tau_0 = \frac{Nb}{2} Kh$ . Отсюда следует, что  $\tau_0$  зависит от перепада давления и от свойств среды  $Kh$ . Уравнение (17) – есть решение уравнения движения структурной жидкости в цилиндрической трубе [6–9].

На рис. 4 представлены эпюры скоростей, рассчитанных по формуле (15) при  $a_0 = 24 \cdot 10^{-3}$ , 1– $Kh=0.01$ , 2– $Kh=1.2$ , 3– $Kh=2$ , 4– $Kh=4$  и при  $a_0 = 48 \cdot 10^{-3}$ , 5– $Kh=1$ , 6– $Kh=5$ , 7– $Kh=7$ .

Как следует из рис.4, при  $a_0 = 24 \cdot 10^{-3}$ ,  $Kh=0.01$ , кривая 1 – эпюра скоростей является параболической, т.е. решение (15) описывает течение вязкой жидкости.

При значениях безразмерного параметра  $Kh=1.2$ ,  $Kh=2$ , 4 кривая 2 и 3 (рис. 4) эпюра скоростей является вязкопластической, т.е. появляется ядро потока. Из сравнения эпюр скоростей 1–4 также следует, что при одном и том же значении безразмерного перепада давления  $a_0$  получается

различный расход в зависимости от интенсивности перемешивания (которое характеризуется параметром  $Kh$ ) как в кольцевом пространстве, так и в цилиндрической трубе. При значениях безразмерного параметра  $a_0=48 \cdot 10^{-3}$  и с увеличением  $Kh$  кривые (см. рис.4, 5– $Kh=1$ , 6– $Kh=5$ , 7– $Kh=7$ ), ядро потока отстает от периферийных зон.

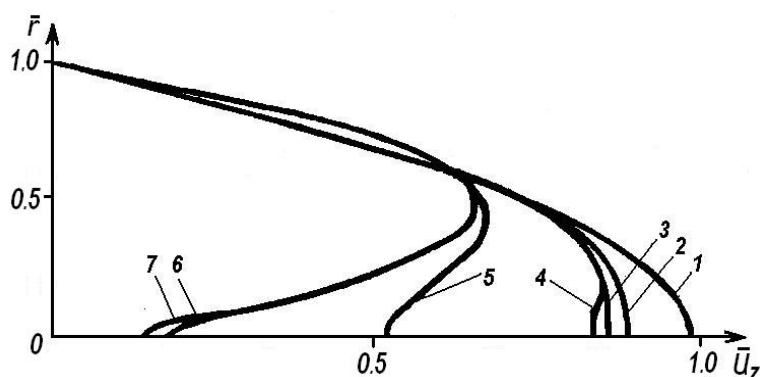


Рис. 4. Распределение безразмерной скорости потока вязкоинертно деформируемой среды

Следовательно, расход в кольцевом пространстве, образованном соосными цилиндрическими трубами, а также отдельно в цилиндрической трубе, зависит не только от сопротивления стенок, ограничивающего поток, но и от физико-механических процессов, происходящих при взаимодействии молярных структур сплошной среды при ее движении. Отсюда следует, что  $\tau_0$  зависит от перепада давления и от свойств жидкости ( $Kh$ ).

Таким образом, установлено, что ядро потока может как опережать периферийную зону потока, так и отставать от нее, т.е. возможны случаи появления потоков вблизи твердых границ, обладающих более высокими продольными составляющими скорости, чем в ядре потока. Анализ полученных эпюр скоростей позволяет утверждать, что предложенная модель движения способна описывать как Ньютоновские, так и неньютоновские жидкости и выявляет существование жидкостей с промежуточными свойствами, поведение которых при движении не могут быть описаны Ньютонским и Бингамовыми моделями.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хусанов И.Н. О деформируемости сред по инерции // Механика многофазных сред и теплообмен. Ташкент: Фан, 1987. С. 151–155.
- [2] Хусанов И.Н. Математическая модель сжимаемой деформируемой сплошной среды с несколькими временами релаксации // ВИНТИ. 1984. 10 ноября. – 21 с.
- [3] Ризаев А.А., Хусанов И.Н. Деформационная инертность текучих сред // Узб. журнал «Композиционные материалы». 2002. № 4. С.17–19.
- [4] Хусанов И.Н. Обобщенная модель вязкоинертно деформируемой среды // Узб. журнал «Проблемы механики». 2008. № 1.
- [5] Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М., 1955. – 520с.
- [6] Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
- [7] Хусанов И.Н. Обобщение зависимости напряжения от ускоренной деформации // ВИНТИ. 1987. 28 января. – 15 с.
- [8] Хусанов И.Н. О моделировании течений растворов, сминающих обсадные колонны // Узб. журнал «Проблемы механики». 2007. № 6. С. 39–43.
- [9] Шищенко Р.И. Гидравлика глинистых растворов. Баку: Азнефтеиздат, 1951.

Научно-исследовательский центр по проблемам отраслевого машиноведения  
при Ташкентском государственном техническом университете

Дата поступления  
18.08. 2015

**У. Н. Балтабаев, И.Н. Хусанов. Ньютон ёпишқоқ-инерт деформацияланувчи мухитни механик модели ва уни икки қувур орасидан оқиш масаласини ечим**

Мақолада ньютон ёпишқоқ-инерт деформацияланувчи мухитни механик модели ва шу мухитни икки қувур орасидан оқиш масаласини аниқ аналитик ечим келтирилган. Олинган ечимда ўлчамсиз  $Kh$  сонни суюқлик қатламлари орасидаги моляр ҳаракат миқдори ва молекуляр ҳаракат миқдори билан алмашувларини нисбатига тенглиги тақазо этилган. Бу сонни квадрати кичик бўлса, Кельвин моделидан фодаланган ҳолдаги Букенгамни ёпишқоқ пластик мухитни қувурдаги оқим ечими хусусий ҳол бўлиши кўрсатилган

*U.N. Baltabaev, I.N. Khusanov. Mechanical Model of Non-Newtonian Viscous-Inert Deformable Mixture and Solution of the Problem of Its Motion in Ring Space*

*In this work mechanical model of Non-Newtonian medium is considered to describe the variation of its stress-strain state under motion. By solution of the problem of viscous-inert medium motion in ring space and by comparison with Buckingham's classical solution it was proved that obtained retard model describes wider region of actual flows than Kelvin's viscous-plastic one. New dimensionless parameter  $Kh$ , was introduced, determined as a ratio of volume fractions of internal molar and viscous (molecular) transfers of motion amount.*

УДК 531.01

**А.И. КАРИМОВ, А.У. САРИМСАКОВ, А.А. РАХМАНОВ**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СМЕСИ С ВЕСОМЫМИ ЧАСТИЦАМИ В СТАЦИОНАРНОМ ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ**

Решение многих практических задач движения смеси требует использования более сложной модели сплошных сред, в частности, двухкомпонентных, где рассматриваются вопросы взаимопроникающего движения твердой и жидкой фаз. В работах [1–2] разработаны методы математического моделирования процессов в сплошной среде, состоящей из двух компонентов: один идеально упругий, а другой – вязкая сжимаемая жидкость, уравнения которой вводились из общих принципов термодинамики необратимых процессов. Модель многокомпонентной среды, содержащей крупные частицы, предложена академиком Х.А.Рахматулиным [1], где рассматривается обобщенная теория фильтрации с учетом движения твердых частиц. В данной статье изучается двумерное стационарное движение в слое смеси, состоящей из несжимаемой жидкости и весоных твердых частиц. Установим начало координат в начальном сечении слоя, где действует поток жидкости со скоростью  $u_{10}$ , направим ось  $Ox$  вдоль свободной поверхности слоя по направлению действия потока, ось  $Oy$  – перпендикулярной к ней. Уравнение стационарного движения частиц жидкости и твердых частиц в произвольном сечении слоя записываем в следующем виде [1]:

$$\rho_1 \left( u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial u_1}{\partial y} \right) = - \frac{\rho_1}{\rho_1^0} \frac{\partial p}{\partial x} + k(u_2 - u_1), \quad (1)$$

$$\rho_1 \left( u_1 \frac{\partial v_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial v_1}{\partial y} \right) = - \frac{\rho_1}{\rho_1^0} \frac{\partial p}{\partial y} + k(v_2 - v_1) + \rho_1 g, \quad (2)$$

$$\rho_2 \left( u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial u_2}{\partial y} \right) = - \frac{\rho_2}{\rho_2^0} \frac{\partial p}{\partial x} + k(u_1 - u_2), \quad (3)$$

$$\rho_2 \left( u_2 \frac{\partial v_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial v_2}{\partial y} \right) = - \frac{\rho_2}{\rho_2^0} \frac{\partial p}{\partial y} + k(v_1 - v_2) + \rho_2 g, \quad (4)$$

где  $\rho_i$  – приведенные плотности;  $u_i, v_i$  – компоненты вектора скорости каждой компоненты ( $i=1,2$ );  $p$  – общее для двух компонентов давление;  $k$  – коэффициент взаимодействия.

Равенства (1)–(4) дополняются уравнениями гетерогенной смеси, связывающими приведенные плотности  $\rho_i$  с истинными плотностями  $\rho_i^0$

$$\frac{\rho_1}{\rho_1^0} + \frac{\rho_2}{\rho_2^0} = 1, \quad (5)$$

а также условиями несжимаемости фаз

$$\rho_1 u_1 = \rho_{10} u_{10}, \quad \rho_2 u_2 = \rho_{20} u_{20}. \quad (6)$$

В дальнейшем считаем движение по направлению действующего потока основным и  $\rho_i = \rho_i(x), u_i = u_i(x), v_i = v_i(x), p_i = p_i(x)$ . Тогда, полагая

$$\frac{\partial u_i}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial v_i}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0,$$

уравнения (1) – (4) приводим к следующему виду:

$$\rho_1 u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} = -\frac{\rho_1}{\rho_1^0} \frac{\partial p}{\partial x} + k(u_2 - u_1), \quad (7)$$

$$\rho_2 u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} = -\frac{\rho_2}{\rho_2^0} \frac{\partial p}{\partial x} + k(u_1 - u_2), \quad (8)$$

$$\rho_1 u_1 \frac{\partial v_1}{\partial x} = k(v_2 - v_1) + \rho_1 g, \quad \rho_2 u_2 \frac{\partial v_2}{\partial x} = k(v_1 - v_2) + \rho_2 g. \quad (9)$$

Из анализа системы (7)–(9) следует, что решения уравнений (9), удовлетворяющие условиям  $v_1=0, v_2=0$  при  $x=0$ , находятся после интегрирования системы (7) и (8) при граничных условиях

$$u_1 = u_{10}, \quad u_2 = u_{20} \quad \text{при } x = 0 \quad (10)$$

Из соотношений (5) и (6) установим следующую связь между скоростями  $u_1(x)$  и  $u_2(x)$ :

$$u_2 = u_{20} \frac{(1-\alpha)u_1}{u_1 - \alpha u_{10}}. \quad (11)$$

Пользуясь (12) и (8), исключаем из (7) функцию  $u_2(x)$ :

$$\frac{d\bar{u}_1}{dx} = \frac{k}{\rho_{10}u_{10}} \frac{\bar{u}_1^2(\bar{u}_1 - \alpha)[\gamma(1-\alpha) - \bar{u}_1 + \alpha]}{(1-\alpha)[\alpha_0\alpha(1-\alpha)\gamma^2 + (\bar{u}_1 - \alpha)^2]}, \quad (12)$$

где  $\bar{u}_1 = u_1 / u_{10}$ ,  $\gamma = u_{20} / u_{10}$ ,  $\alpha = \rho_{10} / \rho_1^0$ ,  $\alpha_0 = \rho_2^0 / \rho_1^0$ .

Интегрируя (13) условием  $u = u_{10}$  при  $x=0$ , получаем

$$\xi = (1-\alpha) \left[ \frac{d_1}{d_2} \ln \bar{u}_1 + \frac{(\alpha^2 + c)}{\alpha(\alpha + b)} \left( \frac{1}{\bar{u}_1} - 1 \right) + \frac{c}{\alpha^2 b} \ln \frac{\bar{u}_1 - \alpha}{1-\alpha} - \frac{b^2 + c}{d_2} \ln \frac{\bar{u}_1 - \alpha - \gamma(1-\alpha)}{(1-\alpha)(1-\gamma)} \right],$$

где  $\xi = x \frac{\rho_{10} u_{10}}{k}$ ,  $d_1 = b\alpha^2 - bc - 2c\alpha$ ,  $d_2 = \alpha^2(b + \alpha)^2$ ,  $b = \gamma(1-\alpha)$ ,  $c = \alpha_0 \alpha b \gamma$ .

Решения уравнений (9) определяются в квадратурах

$$\bar{v}_1 = \frac{v_1}{u_{10}} = e^{-2\xi} \int_0^\xi \left[ \frac{\beta_1}{u_1(z)} - F(z) \right] e^{2z} dz, \quad \bar{v}_2 = \frac{v_2}{u_{10}} = F(\xi) - \bar{v}_1(\xi),$$

где  $F = \int_0^\xi \left( \frac{\beta_1}{u_1(z)} + \frac{\beta_2}{u_2(z)} \right) dz$ ,  $\beta_1 = \rho_{10} g / k u_{10}$ ,  $\beta_2 = \rho_{20} \gamma g / k u_{10}$ .

На рис.1 представлены кривые зависимости компонентов векторов скоростей (отнесенных на  $u_{10}$ ) воздушного потока (рис.1,*а*) и твердых частиц (рис.1,*б*) от приведенного расстояния  $\xi = xk/\rho_{10}u_{10}$ , где принято:  $\rho_1^0 = 1.2$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{10} = 0.8$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_2^0 = 100$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{10} = 30$  кг/м<sup>3</sup>,  $u_{10} = 30$  м/с,  $u_{20} = 5$  м/с,  $k = 100$  кг/м<sup>3</sup>·с.

Анализ этих кривых показывает, что после подачи по мере движения потока по направлению его действия скорости воздуха и частиц твердого компонента соответственно уменьшаются и увеличиваются и далее с ростом этого расстояния их скорости выравниваются. Компоненты скоростей  $v_1(x)$  и  $v_2(x)$  по направлению действия потока сначала интенсивно растут и далее с ростом расстояния под действием силы тяжести увеличиваются по линейному закону.

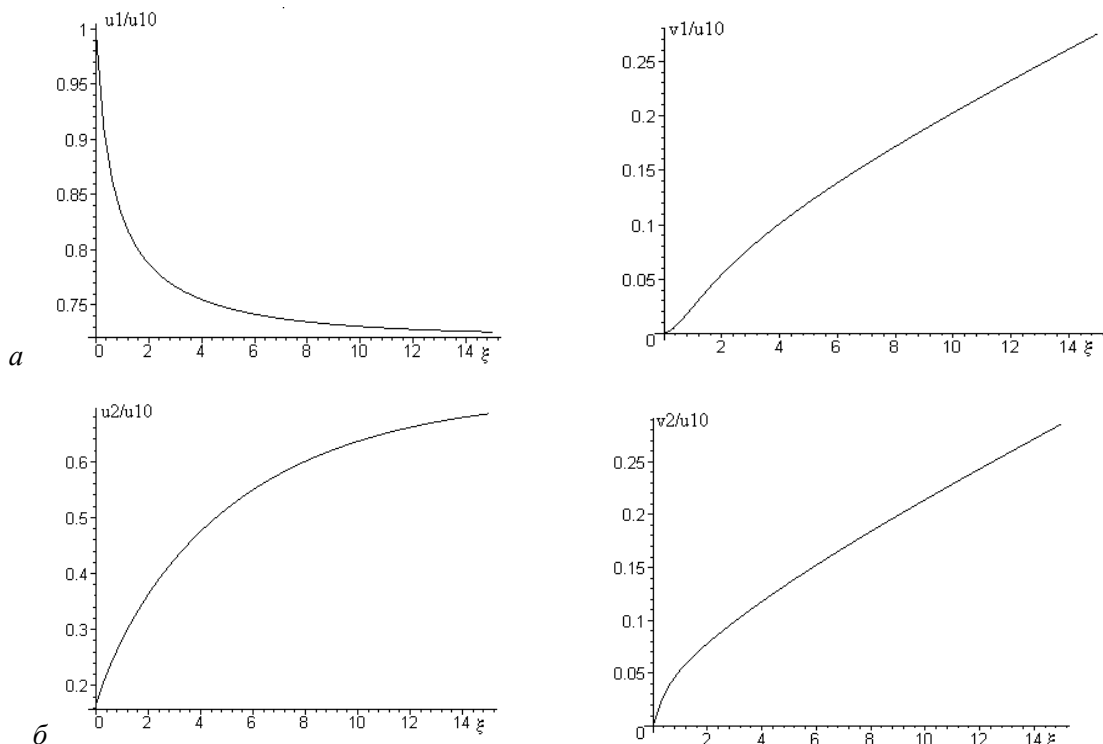


Рис.1. Изменение компонентов скорости воздуха ( $u_1/u_{10}$ ,  $v_1/u_{10}$ ) (а) и твердых частиц ( $u_2/u_{10}$ ,  $v_2/u_{10}$ ) (б) от приведенного расстояния  $\xi = xk/\rho_{10}u_{10}$

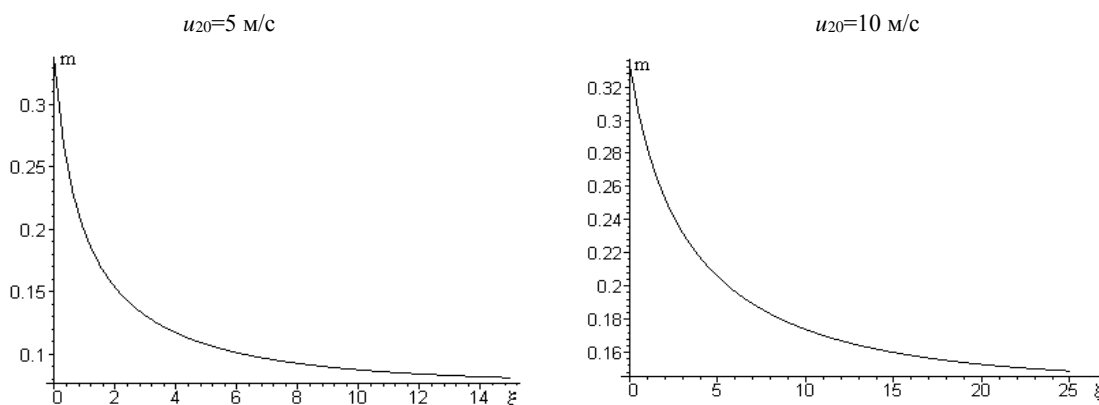


Рис.2. Изменение массового содержания твердых частиц  $m = 1 - \alpha u_{10}/u_1$  от приведенного расстояния  $\xi = xk/\rho_{10}u_{10}$  для двух значений скорости подачи твердых частиц  $u_{20}$  в зону транспортирования.

На рис.2 приведены кривые зависимости массового содержания твердых частиц  $m = 1 - \alpha u_{10}/u_1$  от приведенного расстояния  $\xi$  для двух значений скорости подачи твердых частиц в зону транспортировки. В рассматриваемом примере принято  $m(0) = 0.35$  и далее с ростом расстояния  $\xi$  параметр  $m$  уменьшается и достигает предельное значение  $m = 0.08$  при  $u_{20} = 5$  м/с и  $m = 0.15$  при  $u_{20} = 10$  м/с. Установленная закономерность указывает на интенсивное разрыхление состава смеси за счет уменьшения в ней массового содержания твердых компонентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рахматулин Х.А. Газовая и волновая динамика. М.: МГУ, 1983. – 200 с.  
 [2] Мардонов Б.М. Волновые процессы в упругих насыщенных средах. Ташкент: Фан, 1991. – 200 с.

Наманганский инженерно-технологический институт

23.05.2016 й.  
 кабул қилинган

**А.И. Каримов, А.У. Саримсаков, А.А. Рахманов. Таркиби вазнли заррачалардан ташкил топган аралашманинг суяқлик оқимида стационар ҳаракати**

*Х.А. Рахматулиннинг икки компонентли модели асосида таркиби вазнли заррачалардан иборат бўлган аралашма оқимининг стационар ҳаракати таҳлил қилинган.*



*A.I. Karimov, A.U. Sarimsako, A.A. Rahmanov. Motion simulation of mixture with the weighty particles in the stationary stream of liquid*

*Based on the model of the Kh.A.Rakhmatulin's two-component model studied stationary traffic flow of a mixture containing weighty particles*

УДК 627.824.40

**Р.Х. МУХУТДИНОВА, Г.Т. АЮБОВ**

**КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ КАК ДВУХФАЗНОЙ ГИДРОУПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ЗАДАВАЕМЫХ ЗАПИСЯМИ АКСЕЛЕРОГРАММ**

При расчете на сейсмические воздействия плотин и других сооружений, воспринимающих напор воды, кроме сейсмических инерционных сил, необходимо учитывать влияние водной среды. Водная среда приводит к возникновению дополнительных по отношению к гидростатическому гидродинамического давления на напорные грани сооружения и динамического порового давления жидкости в теле плотины. Вопрос об учете водной среды при расчетах сооружений на сейсмостойкость впервые возник в связи с проектированием ряда высоких плотин в сейсмически активных районах земли. Разработка теоретических методов расчета сейсмостойкости плотин, портовых сооружений, резервуаров – хранилищ жидкого топлива и других гидротехнических и специальных сооружений в значительной степени стимулировала развитие работ по исследованию динамического взаимодействия конструкций с жидкостью. Многие из крупных ученых (Г. Вестергард, Т. Карман, Л. С. Лейбензон, М.Т.Уразбаев и др.) своими основополагающими работами способствовали прогрессу в этой области механики.

Согласно известному решению Вестергарда для жесткой плотины с вертикальной напорной гранью, расположенной в каньоне прямоугольного поперечного сечения и совершающей продольные гармонические колебания с частотой, существенно меньшей первой собственной частоты объема жидкости, сейсмическое давление воды характеризуют следующие величины: максимальная ордината эпюры давления (у подошвы плотины)  $P_v=0.74K_c$ ; суммарное давление на плотину  $P=0.4K_c(1)$ . Момент равнодействующей относительно подошвы  $M=22K_c$ . При  $K_c = 0.2$  суммарное гидродинамическое давление на плотину (применительно к рассматриваемой расчетной схеме Вестергарда) составляет 22% от гидростатического, что уже существенно. Очевидно, что такое сопоставление, сделанное в рамках статической теории сейсмостойкости, является весьма условным, так как следует иметь в виду динамический характер дополнительного гидродинамического давления, а также возможное его увеличение при нестационарных колебаниях, акустическом резонансе, колебаниях бортов каньонов и других обстоятельствах, не учитываемых формулой (1).

Анализ работ по колебаниям конструкций в жидкости показывает, что в разных трудах зачастую используются различные исходные предпосылки как в части описания движения жидкости, так и схематизации работы конструкции. Это обстоятельство объясняется большим разнообразием технических проблем, разрешение которых требует совместного рассмотрения уравнений гидромеханики и теории упругости. Даже если ограничиться только задачами сейсмостойкости гидросооружений и близкими к ним, то и в них используемые системы исходных допущений оказываются достаточно разнообразными. Очевидно, что решения, основанные на разных исходных предпосылках, имеют разные области применимости, и сопоставление результатов ввиду этого оказывается затруднительным. Следует заметить, что развитие ЭВМ и широкое внедрение в механику сплошных сред численных методов позволяет в настоящее время пересмотреть точку зрения на необходимость введения некоторых допущений. Многие задачи, решенные в свое время классическими методами, могли быть рассмотрены только после существенного упрощения физической и геометрической сторон явления.

Использование численных методов уже сейчас позволяет отказаться от ряда упрощающих допущений и оценить роль факторов, учет которых ранее был весьма затруднительным. В принципе любая задача о динамическом взаимодействии конструкции с водной средой должна решать-

ся на основе рассмотрения их как единой гидроупругой системы. Из решения связанных систем уравнений движения упругого тела и жидкости при соответствующих граничных и начальных условиях определяются необходимые для расчета конструкции величины напряжений и смещений (вызванные как сейсмическими инерционными силами, так и гидродинамическим давлением). Такой путь решения задачи был предложен впервые, видимо, Л.С.Лейбензоном, и развивался затем в ряде работ, например, М.Т.Уразбаева и его школы. Практическая реализация этого подхода, наиболее общего с теоретической точки зрения, связана с весьма трудоемкими вычислениями (особенно для сложных пространственных систем типа арочных и контрфорсных плотин, водоприемных башен, резервуаров и т. п.). Поэтому в прикладной теории сейсмостойкости гидротехнических сооружений получил распространение приближенный прием, основанный по существу на раздельном рассмотрении указанных систем уравнений. К сожалению, следует отметить следующий факт. При расчете гравитационной плотины высотой 100м с учетом присоединенной массы жидкости по Вестергарду уменьшение собственной частоты плотины составило 34%. По нашей методике учитывалось реальное распределение гидродинамического давления – 8%. Это связано с тем, что по нашей методике на собственную частоту влияет лишь гидродинамическое давление, возникающее от упругой части перемещения. Давление же от переносного колебания сооружения действует как внешняя нагрузка. Поэтому гидроупругий эффект влияет лишь на фазовую часть напряжения, а давление, возникающее от переносного движения сооружения, – на формирование напряженного состояния. При создании программы расчета динамической консолидации грунтовой плотины нами предварительно была использована система уравнений движения двухфазной среды, предложенная в [1]:

$$\left. \begin{aligned} \rho^u \ddot{u}_{CK} &= \left( \frac{\partial \sigma_x^{\text{эф}}}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} \right) \frac{1}{1-m} + \frac{\partial P^B}{\partial x} + \frac{\rho^B g m^2}{(1-m)} \frac{(\dot{u}_B - \dot{u}_{CK})}{k_{\phi_x}} + \rho^u g; \\ \rho^u \ddot{v}_{CK} &= \left( \frac{\partial \sigma_y^{\text{эф}}}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} \right) \frac{1}{1-m} + \frac{\partial P^B}{\partial y} + \frac{\rho^B g m^2}{(1-m)} \frac{(\dot{v}_B - \dot{v}_{CK})}{k_{\phi_y}}; \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \rho^B \ddot{u}_B &= \frac{\partial P^B}{\partial x} - \frac{\rho^B g m}{k_{\phi_x}} (\dot{u}_B - \dot{u}_{CK}) + \rho^B g; \\ \rho^B \ddot{v}_B &= \frac{\partial P^B}{\partial y} - \frac{\rho^B g m}{k_{\phi_y}} (\dot{v}_B - \dot{v}_{CK}); \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

$$\dot{P}^B = \frac{M_B}{m} \left[ (1-m) \dot{\theta} + \left( \frac{\partial \dot{u}_B}{\partial x} + \frac{\partial \dot{v}_B}{\partial y} \right) m \right]. \quad (3)$$

Однако при параметрическом анализе было выявлено несоответствие результатов физическому смыслу. При рассуждении о смысле каждого члена системы уравнений и его влиянии на результат расчета были выявлены ошибки. Полученная нами в результате такой корректировки система уравнений при учете сейсмических сил имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho^u (1-m) \ddot{u}_{CK} &= \frac{\partial \sigma_x^{\text{эф}}}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} + \frac{\partial P^B}{\partial x} + \rho^B g m \frac{(\dot{u}_B - \dot{u}_{CK})}{k_{\phi_x}} - \rho^u (1-m) (g + \ddot{u}_0(t)); \\ \rho^u (1-m) \ddot{v}_{CK} &= \frac{\partial \sigma_y^{\text{эф}}}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial P^B}{\partial y} + \rho^B g m \frac{(\dot{v}_B - \dot{v}_{CK})}{k_{\phi_y}} - \rho^u (1-m) \ddot{v}_0(t); \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \rho^B m \ddot{u}_B &= \frac{\partial P^B}{\partial x} - \frac{\rho^B g m}{k_{\phi_x}} (\dot{u}_B - \dot{u}_{CK}) - \rho^B g m; \\ \rho^B m \ddot{v}_B &= \frac{\partial P^B}{\partial y} - \frac{\rho^B g m}{k_{\phi_y}} (\dot{v}_B - \dot{v}_{CK}); \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

$$\dot{P}^B = M_B \left[ (1-m) \dot{\theta} + \left( \frac{\partial \dot{u}_B}{\partial x} + \frac{\partial \dot{v}_B}{\partial y} \right) m \right], \quad (6)$$

где  $\sigma_x^{\text{эф}}$ ,  $\sigma_y^{\text{эф}}$  и  $\tau$  – эффективные напряжения, связанные с деформациями скелета уравнениями состояния;  $\dot{u}_{CK}$ ,  $\dot{v}_{CK}$  – скорости перемещения скелетного материала в направлении осей  $x$  и  $y$ ;  $P^B$  –

динамическое поровое давление жидкости внутри тела плотины;  $m$  – пористость скелета;  $k_{\phi i}$  – коэффициент фильтрации в  $i$ -м направлении;  $\dot{u}_B, \dot{v}_B$  – вертикальная и горизонтальная составляющие скорости жидкости;  $\rho^c$  – плотность скелетных частиц;  $\rho^B$  – плотность жидкости;  $\dot{\theta}$  – скорость объемных деформаций  $\dot{\theta} = \dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y$ ;  $M_B$  – модуль упругости жидкости;  $\ddot{u}_0(t)$  и  $\ddot{v}_0(t)$  – вертикальная и горизонтальная составляющие ускорения основания при землетрясении. Вышеприведенные уравнения совместно с уравнениями состояния скелета грунта полностью определяют решение задачи. В дополнение к ним должны быть заданы начальные и граничные условия для скелета грунта и для порового давления жидкости. Методика и алгоритм расчета более подробно описаны в [2–3]. Алгоритм учета пластических деформаций и вывод формулы для определения местного коэффициента запаса прочности грунта по теории упругости приведены в [4–5]. Одной из проблем обеспечения безопасности сооружений строящихся в сейсмически активных районах земли является создание более совершенной математической модели определения их напряженно-деформированного состояния и устойчивости при переходных процессах околорезонансного сейсмического колебания стройплощадки.

С приобретением Институтом сейсмологии АН РУз аппаратуры, записывающей параметры землетрясений, нам удалось более реально учесть сейсмическое воздействие при обосновании проекта грунтовой плотины, строящейся в Сурхандарьинской области. Приведем результаты расчета плотины водохранилища в Сырдарьинской области высотой 30м на податливом двухслойном основании. Сейсмическая сила, согласно указаниям КМК 2.01.02-04 «Строительство в сейсмических районах», задана записями двух акселерограмм, рекомендованных для Сырдарьинской области под названиями -IB-35 Г-50 и Газли В-3. Акселерограммы имеют продолжительность около 9 с и предоставлены И.Х.Алиевым [6].

Результаты расчета показали, что данная плотина не попадает в резонансное состояние с заданными сейсмическими воздействиями. Этот факт является главной оценкой общей устойчивости плотины. Пиковые нагрузки при землетрясениях возникают за очень короткий промежуток времени. Если за это время плотина не попадает в резонансное состояние, тогда не возникают незатухающие колебания. Оценка местной устойчивости в каждой точке сечения проверялась на основе анализа соотношения горизонтальных, вертикальных и тангенциальных напряжений. При землетрясении в грунте происходит попеременная смена процесса уплотнения и разрыхления. Грунт является самоизлечивающимся материалом в определенных пределах нагрузки. Сопоставление приведенных результатов показывает, что уже при 9 с плотина приняла почти устойчивое состояние. Горизонтальные и вертикальные напряжения по всему сечению сжимающие. Касательные напряжения имеют небольшие растягивающие напряжения у низовой грани (рис. 1).

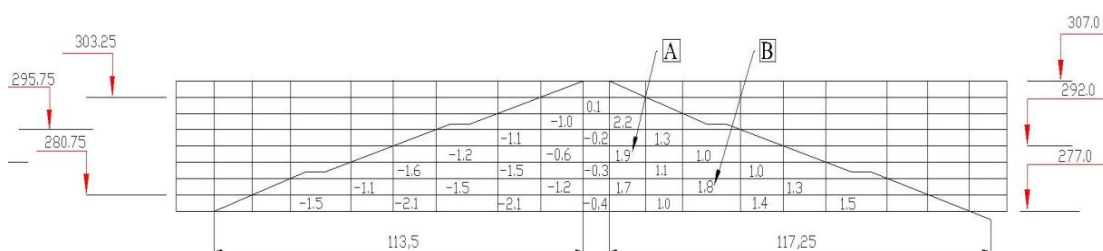


Рис.1. Касательные напряжения от статических и динамических воздействий при 9 с (т/м<sup>2</sup>)

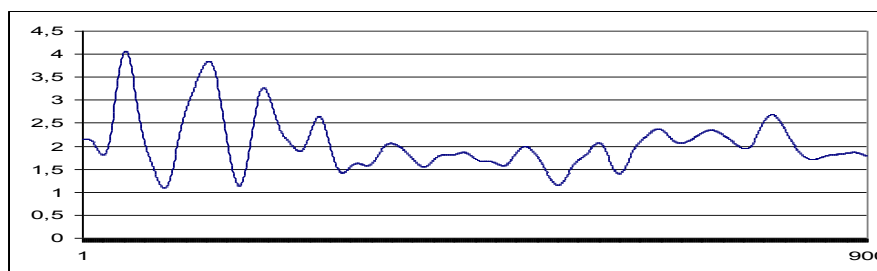


Рис.2. Изменение во времени за 9 с касательного напряжения в точке А (т/м<sup>2</sup>)

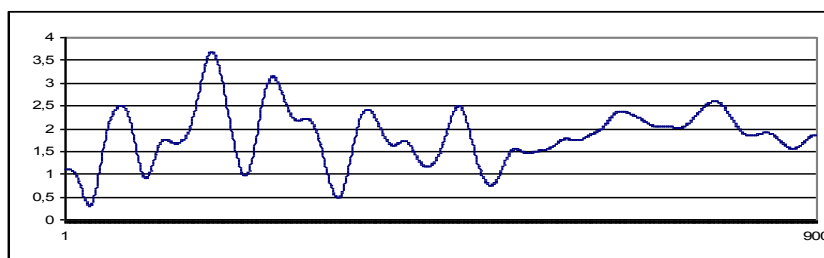


Рис. 3. Изменение во времени за 9 с касательного напряжения в точке В ( $t/m^2$ )

На рис. 2 и 3 приведены изменения во времени за 9 с касательных напряжений в опасных точках А и В. Результаты изменения вертикальных перемещений показали, что максимальные динамические вертикальные перемещения в основании между слоями достигают 0.43м, а на гребне – 0.5 м. Выпоры грунта от динамических горизонтальных перемещений при 9 с получились в основании плотины равными под верховой гранью 0.2 м и под низовой гранью – 0.4 м.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зарецкий Ю.К., Ломбардо В.Н. Статика и динамика грунтовых плотин. М.: Энергоиздат, 1983.
- [2] Мухутдинова Р.Х. Методика расчета грунтовых плотин как двухфазных сред при динамических нагрузках. // Проблемы механики, Ташкент 2008. №6.
- [3] Мухутдинова Р.Х., Юнусов Г.Г., Аюбов Г.Т., Ёкуб З. Алгоритм и результаты расчета грунтовой плотины как двухфазной среды // Проблемы механики. Ташкент, 2009. №5-6.
- [4] Мухутдинова Р.Х., Юнусов Г.Г., Аюбов Г.Т. Уточненная методика для оценки безопасности сооружений из грунтовых материалов при сейсмических воздействиях // Проблемы механики. Ташкент, 2011. №1.
- [5] Тимошенко С.П. Теория упругости М., 1934.
- [6] Алиев И.Х. Анализ сейсмических процессов и реакции сооружений вероятностными методами: Автореф. дис.... докт. техн. наук. Баку, 1991.

Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз

Дата поступления  
22.04.2016

*Р.Х. Мухутдинова, Г.Т. Аюбов. Грунт тўғоннинг икки фазали гидроэластопластик система шаклидаги кучланганлик-деформация ҳолати ва устиворлигини акселерограммалар орқали берилган сейсмик кучлар таъсирида резонансга тушиши ҳолатини таҳлил қилиш*

*Мақолада тўғонга сув босимини аниқлаш усулларининг ҳозирги ҳолати ҳамда сув ва грунт тўғоннинг ўзаро таъсирини янги, илмий жиҳатдан асосланган икки фазали муҳит назариясидан фойдаланиб излаш тавсия қилинган.*

*R.Kh. Mukhutdinova, G.T. Ayubov. Complex study of static and dynamic stress-strain state and stability of earth dam taken as a two-phase hydraulic- elastic system with consideration of transition process under seismic effects given by the records of accelerograms*

*Comparison of results of existing methods of account of fluid pressure on the dams is described in the paper in the range of static theory of seismic stability, and the most scientifically substantiated methods of account of fluid-dam interaction as a two-phase medium are offered.*

УДК 532.513

**Ф. Х. НИШОНОВ**

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Гидравлический удар является исключительным случаем в гидравлике, когда приходится учитывать сжимаемость жидкости, так как под влиянием больших инерционных сил она несколько сжимается, а стенки трубопроводов растягиваются. Гидравлический удар вызывает значительное повышение напряжений в материале труб, связанное с повышением давления в несколько десятков и даже сотен раз по сравнению со статическим. Это может повлечь за собой разрыв трубопровода и его деформацию с нарушением стыковых соединений.

Величина гидравлического удара при явлениях разрыва сплошности массы воды может увеличиваться на 40% по сравнению с основным гидравлическим ударом. Из-за высокой стоимости создания физической модели для исследования актуальных гидравлических явлений в водо-

проводящих трактах гидроузла возникает необходимость создания и использования аппарата математического моделирования.

Как известно, простые трубопроводы выстроены из постоянного диаметра труб одного материала и из одного сортамента труб в отличие от сложных трубопроводов. В сложных трубопроводах нарушается какое-либо из свойств простого трубопровода. Первоначально способ расчёта гидравлического удара в сложных трубопроводах предложил Спарр [1], в настоящее время из них наиболее известны:

- 1) метод наложения импульсов Кнаппа [2];
- 2) обобщённый метод Егера [3];
- 3) метод эквивалентных длин проф. М. А. Мосткова [4].

В 1958 г. проф. Г. А. Томас [5], выступая в дискуссии по поводу работы проф. Р. В. Ангуса об определении силы гидравлического удара в сложных трубопроводах графическим методом [6], предложил свой способ аналитического определения силы удара в этих трубопроводах, который рекомендовался американскими журналами (например, «Journal of AWWA». 1939. № 11.).

Одновременно значительное распространение получили графические методы. По расчёту сложных трубопроводов графическим методом наиболее известны работы Шпидера [7]; Л. Бержерона [8], Р. Ангуса [9], В. Крига и др. [10].

Основная схема явления гидравлического удара по теории Н.Е. Жуковского основывается на мгновенном ударе жидкости. При этом жидкость считается не вязкой, но сжимаемой и подчиняющейся закону Гука, трубопровод – абсолютно жестким. Скорость  $H$  напорного движения определяется по формуле [11]

$$V_H = \sqrt{2gH} . \quad (1)$$

С дополнительным изменением давление напор во всех сечениях нагнетательного трубопровода мгновенно меняется и удар распространяется как упругая волна с большой скоростью и в трубопроводе создаётся перепад давления  $\Delta p$ , который определяется в виде разницы давления [11]:

$$\Delta p = p_H - p_a = \rho \frac{\alpha V_H^2}{2} , \quad (2)$$

где  $V$  – средняя скорость потока, равная  $V = ui + \mathcal{G}j$ ;  $\alpha$  – коэффициент кинетической энергии, или коэффициент Кориолиса. Скорость мгновенного удара во всех точках поперечного сечения равна средней скорости ( $u=V$ ) и определяется по интегральному соотношению [2]

$$\alpha = \frac{1}{\omega_0} \int_{\omega} \left( \frac{u}{V} \right)^3 d\omega .$$

Учитывая формулы (1) и (2), получим следующее равенство для определения разницы давления  $\Delta p$ :

$$\Delta p = \alpha \rho \frac{V_H^2}{2} = \alpha \rho \frac{2gH}{2} = \alpha \gamma H , \quad (3)$$

где  $\gamma$  – удельный вес жидкости.

Вследствие внезапного удара в нагнетательном трубопроводе диаметром  $D_0$  происходит гидравлический удар о (задвижку) мембрану с диаметром щели  $d_0$ , отчего возникает напорное истечение из щели мембраны. Как отмечалось, мгновенный удар сопровождается возникновением напорного импульса  $I_0^*$  в трубопроводе [2]:

$$I_0 = P_0 + \gamma H . \quad (4)$$

Прежде всего необходимо отметить, что в сложных водоводах, состоящих из труб разных диаметров, скорость течения воды меняется при переходе от одного диаметра к другому; поэтому решение соответствующих задач приходится или делать в относительных координатах  $\beta^2$  и  $\mathcal{G}$  или переходить от скорости к расходу воды, что совсем несложно. Действительно, уравнения прямой волны могут быть представлены в следующем общем виде [12]:

$$h_{At_i} - h_{Et_m} = \frac{a}{g\omega} (\omega\mathcal{G}_{At_i} - \omega\mathcal{G}_{Et_m}) = s(q_{At_i} - q_{Et_m}).$$

Здесь

$$h_{At_i} - sq_{At_i} = h_{Et_m} - sq_{Et_m} = C \quad (5)$$

и соответственно

$$h_{Et_m} - h_{At_i} = -\frac{a}{g\omega} (\omega\mathcal{G}_{Et_m} - \omega\mathcal{G}_{At_i}) = -s(q_{Et_m} - q_{At_i}), \quad (6)$$

откуда

$$h_{At_i} + sq_{At_i} = h_{Et_m} + sq_{Et_m} = C, \quad (7)$$

где  $s = \frac{a}{g\omega}$  – составной множитель ( $\omega$  – поперечное сечение трубы);  $q$  – расход, равный  $\omega\mathcal{G}$ ,

$C$  – постоянная величина. Буквы, помещённые внизу координат  $h$  и  $q$ , обозначают тот конец трубы

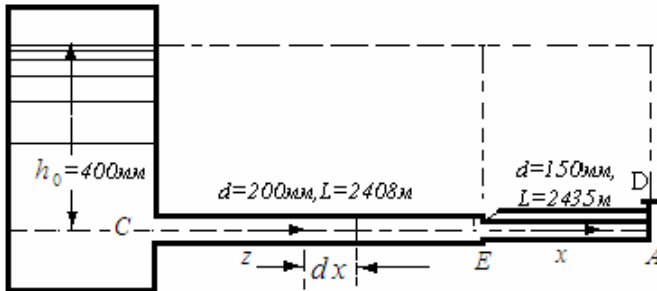


Рис. 1. Момент времени, к которому относится то или иное давление или тот или иной расход воды

$AE$ , к которому относятся  $h$  и  $q$  (рис.1.); эти буквы, кроме того, снабжаются внизу цифровыми значками (в общем виде  $(t_i, t_m, t_n)$ ), обозначающими момент времени, к которому относится то или иное давление или тот или иной расход воды; момент времени относится к концу секунды, считая последнюю от момента начала закрытия (или открытия) затвора; так,  $h_{Eim}$  обозначает давление на конце  $E$  трубы  $AE$  по истечении  $t_m$  с от начала

закрытия затвора;  $q_{Am}$  означает расход на конце  $A$  трубы  $AE$  по истечении  $t_n$  с от момента начала закрытия затвора. При этом  $t_m$  и  $t_n$  связаны между собой зависимостью  $L_{AE} = a(t_n - t_m)$ , где  $L_{AE}$  – длина участка трубопровода.

Каждое из уравнений (4) и (6) является одним из общих совместных уравнений, дающих зависимость между  $h$  и  $q$ ; другим уравнением будет уравнение истечения воды через выпускное отверстие водовода в точке  $A$ , т. е.

$$q = \alpha\omega_n\mathcal{G} = \alpha\varphi\omega_n\sqrt{2gh} = k\sqrt{h}, \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент, являющийся функцией времени (в зависимости от закона изменения площади отверстия  $\omega_n$  в сечении  $A$ ). Как видно из формул (5) и (7), знак при  $s$  будет + (плюс) в том случае; если перемещение наблюдателя вдоль трубопровода и движение воды будут направлены к точке  $A$ , т. е. в одну сторону, и – (минус) – при обратном направлении наблюдателя.

Приведённые выше уравнения позволяют решать вопросы, связанные с расчётом сложных трубопроводов.

Представим себе сложный трубопровод в виде одной нитки, имеющий общую длину  $L$  и состоящий из нескольких участков длиной  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_k$  с соответственными сечениями  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_k$ , в которых вода движется со скоростями  $\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2, \mathcal{G}_3, \dots, \mathcal{G}_k$ , скорость распространения ударной волны в которых  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ . Живая сила движущейся воды в любом участке этого трубопровода будет

$$\frac{m_i \cdot \mathcal{G}_i^2}{2} = \frac{\gamma}{g} f_i l_i \frac{\mathcal{G}_i^2}{2} = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{q_i}{\mathcal{G}_i} l_i \frac{\mathcal{G}_i^2}{2} = \frac{\gamma q}{2g} l_i \mathcal{G}_i,$$

а во всём трубопроводе

$$\frac{\gamma q}{2g} (l_1 \mathcal{G}_1 + l_2 \mathcal{G}_2 + l_3 \mathcal{G}_3 + \dots + l_k \mathcal{G}_k) = \frac{\gamma q}{2g} \sum_{i=1}^{t=k} l_i \mathcal{G}_i.$$

В заменяющем простом трубопроводе длиной  $L$  и сечением  $S$  со скоростью течения в нём  $\mathcal{G}$  живая сила движущейся в нём воды будет

$$\frac{\gamma}{g} SL \frac{\vartheta^2}{2} = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{q}{\vartheta} L \frac{\vartheta^2}{2} = \frac{\gamma q}{2g} L \vartheta.$$

Так как по условию живая сила в обоих трубопроводах одинакова, то

$$L \cdot \vartheta = \sum_{i=1}^{i=k} l_i \vartheta_i, \quad \vartheta = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} l_i \vartheta_i}{L}.$$

Скорость распространения ударной волны в заменяющем трубопроводе  $a_0$  по предложению Аллиеви определится из равенства времени прохождения ударной волной рассматриваемого и заменяющего трубопроводов, т. е. из равенств

$$\frac{l_1}{a_1} + \frac{l_2}{a_2} + \frac{l_3}{a_3} + \dots + \frac{l_k}{a_k} = \sum_{i=1}^k \frac{l_i}{a_i} = \frac{L}{a_0}.$$

Отсюда

$$a_0 = \frac{L}{\sum_{i=1}^k \frac{l_i}{a_i}}.$$

В дальнейшем задача сводится к расчёту заменяющего простого трубопровода длиной  $L$ , пропускающего тот же расход  $q$  со скоростью  $\vartheta$  и в котором ударная волна распространяется со скоростью  $a_0$ . Для этого трубопровода по ранее изложенным способам определяется повышение давления при ударе  $\Delta h$  у задвижки; затем строится линия распределения давления при ударе вдоль трубопровода. Один из приёмов состоит в распределении общего ударного давления  $\Delta h$  по участкам сложного трубопровода пропорционально  $\sum \frac{l_i}{a_i}$ . Так, если имеем сложный трубопровод (рис.2), состоящий из четырёх участков длиной  $l_1, l_2, l_3, l_4$  со скоростями в них  $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \vartheta_4$ , в точке 1 общее ударное давление будет  $\Delta h$ , а в точке 5 оно будет равно нулю. В точке 2 ударное давление определится по формуле

$$\Delta h_2 = \Delta h \frac{\sum_{i=2}^{i=4} l_i \vartheta_i}{\sum_{i=1}^{i=4} l_i \vartheta_i}$$

и в точках 3 и 4 – по формулам

$$\Delta h_3 = \Delta h_2 \frac{l_3 \vartheta_3 + l_4 \vartheta_4}{l_2 \vartheta_2 + l_3 \vartheta_3 + l_4 \vartheta_4};$$

$$\Delta h_4 = \Delta h_3 \frac{l_4 \cdot \vartheta_4}{l_3 \vartheta_3 + l_4 \vartheta_4}.$$

Вместо вычислений можно применить графическое определение (см. рис.2). Для этого над сечениями 1, 2, 3 и 4, в которых соприкасаются отдельные участки трубопровода, по ординатам от статического горизонта  $z-z$  откладываются соответствующие значения  $\sum l_i \vartheta_i$ , например, над точкой 1 откладывается  $l_1 \vartheta_1 + l_2 \vartheta_2 + l_3 \vartheta_3 + l_4 \vartheta_4$ , над точкой 3 – соответственно  $l_3 \vartheta_3 + l_4 \vartheta_4$  и т.д. Соединение верхних точек отложенных сумм отрезков даст ломаную линию  $z-b-c-d-5$ . Затем линии  $rb$ ,  $bc$  и  $cd$  продолжают до пересечения с линией статического горизонта  $z-z$  в точках  $O_1, O_2$  и  $O_3$ .

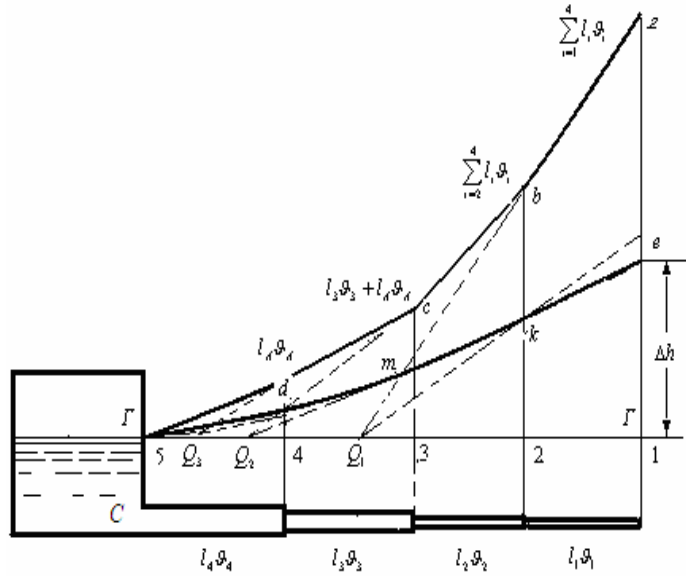


Рис.2. Сложный трубопровод, состоящий из четырёх участков

По ординате  $1-r$  от статического горизонта откладывается исчисленная для заменяющего водопровода сила удара в его конечной точке  $\Delta h$ ; полученная точка  $e$  соединяется прямой с точкой  $O_1$ ; пересечение прямой  $eO_1$  с ординатой  $2-b$  даст точку  $k$ ; лежащую на линии ударного давления.

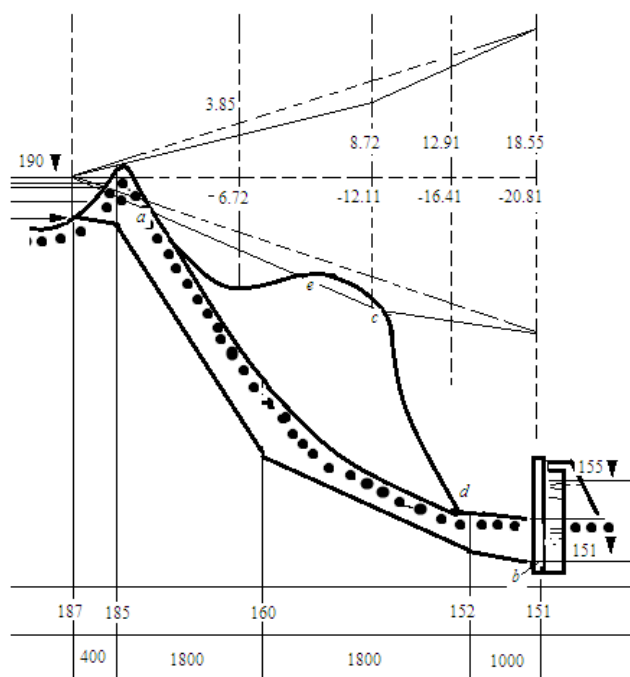


Рис.3. Линия распределения пониженного давления при закрытии задвижки

Соединив точку  $k$  прямой с точкой  $O_2$ , получают на ординате  $3-c$  следующую точку ударного давления  $m$  и т.д. В результате получается линия ударного давления вдоль трубопровода  $e-k-m-n-5$ . Этот способ подходит для случая закрытия задвижки, но при её открытии несколько уменьшает понижение давления для промежуточных точек, так как линия распределения пониженного при ударе давления имеет некоторый прогиб вниз (рис.3). Графики на рис. 2,3 получены из расчёта водопровода, питающегося из возвышенного резервуара с постоянным горизонтом воды в нём. Он уложен из чугунных труб, состоящих из трёх участков: верхнего участка  $CE$  диаметром 200мм и длиной 2408 м и двух параллельных участков  $EA$  и  $ED$  (см. рис.1) диаметром 150 мм, длиной каждый 2435 м. Участок  $EA$  в точке  $A$  снабжён затвором, а участок  $ED$  имеет в точке  $D$  заглушку. Статический напор равен 34 м вод. ст. Определено давление в

точках  $A$ ,  $E$  и  $D$  при закрытии первоначально полностью открытого затвора в точке  $A$ ; закрытие происходило в течение 5 с при линейном изменении площади открытия.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] De Sparre. Etude general du coup de belier // Societe hydrotechnique de France. Bulletin special. 1915. № 1.
- [2] Symposium on water-hammer. Сборник докладов на конференции Комитета по гидравлическому удару, 1933. ASME and ASCE, 1934.
- [3] Jaeger Ch. Theories general du coup de belie, 1939. P. 109–115.
- [4] Москв М. А. Гидравлический удар в гидроэлектрических электростанциях. М., 1938.
- [5] Томас Н. А. Water-hammer pressures in compound and branched pipes // Proceedings if the ASCE. 1938. N6.
- [6] Angus R. W. Water-hammer pressures in compound and branched pipes // Poceedings jf the ASCE. 1938. N1.
- [7] Schnyder O. Uber Druerkstosse in verzweigten Leitungen mit besonderer Berucksichtigung von Wasserschlossanlagen // Wasserkraft und Wasserwirtschaft". 1935. №12.
- [8] Bergeron L. Etude de variations de regime dans les conduits deau (solution graphique general) // Revue General de Hydraulique. Vol. 1. 1935. P.12. 69.
- [9] Bergeron L. Etude de coup de belter dans les conduifes (nouvel expose de la methodegraphique)// La Texnique Moderne. Vol. 28. 1936.
- [10] Кригер В. Джестин Дж. Гидроэлектрический справочник. 1937. Т.11. С. 169–213.
- [11] Сурин А. А. Гидравлический удар в водопроводах и борьба с ним. М., 1946. – 372с.
- [12] Хамидов А. А., Худайкулов С. И., Махмудов И. Э. Гидромеханика. Ташкент: Фан, 2008. –340с.

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Дата поступления  
11.02.2016

#### **Ф. Х. Нишонов. Мураккаб қуурлардаги гидравлик зарбани моделлаштириши**

*Мақолада қурилиш комплексларидаги қуурларда вужудга келадиган гидравлик зарбани аниқлаш усуллари берилди. Қуур вентиляциянинг ёпилиши ва очилишида вужудга келувчи гидравлик зарбани аниқлашнинг аналитик ва график усуллари келтирилади.*

#### **F.H. Nishonov. Modeling of the hydraulic blow in complex pipe line**

*Is considered methods of the determination of the hydraulic blow in complex pipe line building complex. Happens to analytical and graphic methods calculation hydraulic blow at opening and closing the valve of the bolt.*



## АНОМАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ВЕЩЕСТВА В НЕОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Подземные резервуары, вмещающие различные жидкости, в частности, нефтяные и газовые месторождения, водоносные пласты, как правило, имеют неоднородные фильтрационно-ёмкостные свойства. Последнее определяет характер движения в них жидкостей и переноса различных веществ вместе с жидкостями. В неоднородных средах законы Дарси и Фика нарушаются [1,2]. Типичным примером неоднородной среды являются трещиновато - пористые среды, где движение жидкости и перенос вещества происходят с проявлением запаздывания, обусловленного обменом между системой трещин и пористыми блоками [3, 4].

В последнее время для моделирования эффектов запаздывания при переносе жидкости и вещества в неоднородных средах стал использоваться подход, учитывающий производные дробного порядка как по времени, так и по пространственной переменной в уравнениях фильтрации и переноса веществ [5–7].

Рассмотрим неоднородную пористую среду, состоящую из хорошо проницаемой (транзитной) и плохо проницаемой застойной зон, где неизотермический процесс переноса вещества происходит в транзитной зоне, а между зонами за счет образовавшихся градиентов концентраций возникает массообмен. Допускается перенос вещества в окружающую среду, когда она проницаема. Не конкретизируя геометрические характеристики застойной зоны, массообмен между зонами, а также диффузионный поток вещества, в уравнении переноса вещества моделируются источником членом в виде дробной производной от концентрации вещества по времени. Это позволяет учесть аномальные явления в процессе переноса вещества. Заметим, что некоторые задачи переноса вещества в таких средах с конкретизацией и без конкретизации геометрических характеристик зон без учета аномальных явлений рассматривались в [8–11].

В соответствии с сформулированными условиями перенос вещества в одномерном случае может быть описан уравнениями [5, 6]

$$m \frac{\partial \tilde{c}}{\partial t} + v \frac{\partial \tilde{c}}{\partial x} + a_3 \frac{\partial^\gamma \tilde{c}}{\partial t^\gamma} + a_1 \frac{\partial^\beta \tilde{c}}{\partial t^\beta} = \frac{\partial}{\partial x} (mJ), \quad (1)$$

$$J = D \left( p \frac{\partial^\alpha \tilde{c}}{\partial x^\alpha} + (1-p) \frac{\partial^\alpha \tilde{c}}{\partial (-x)^\alpha} \right), \quad (2)$$

где  $\tilde{c}$  – объемная концентрация вещества;  $t$  – время  $c$ ;  $J$  – относительный диффузионный массовый поток, м/с;  $m$  – пористость транзитной зоны;  $D$  – коэффициент эффективной диффузии, м<sup>1+ $\alpha$</sup> /с;  $a_1$  – ретардационный фактор, обусловленный переносом вещества в окружающую среду, с <sup>$\beta-1$</sup> ;  $a_3$  – ретардационный фактор, связанный массообменом между двумя зонами, с <sup>$\gamma-1$</sup> ;  $v$  – скорость фильтрации м/с;  $\alpha, \beta, \gamma$  – порядок производных ( $0 < \alpha \leq 1, 0 < \beta < 1, 0.5 \leq \gamma \leq 1$ ),  $p$  ( $0 \leq p \leq 1$ ) характеризует долю опережающей и отстающей дисперсии от центральной симметрии. Если  $p < \frac{1}{2}$ , дис-

персия имеет отстающий от симметрии характер с образованием хвоста. Если  $p > \frac{1}{2}$ , дисперсия имеет уклон вперед относительно симметрии с образованием быстрого фронта и относительно коротким хвостом [7].

Уравнение аномальной теплопередачи с учетом диффузии тепла представим в виде

$$\overline{\rho_2 C_{p2}} \frac{\partial T}{\partial t} + d_3 \frac{\partial^\gamma T}{\partial t^\gamma} + d_1 \frac{\partial^\beta T}{\partial t^\beta} + \rho_w C_{pw} v \frac{\partial T}{\partial x} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (3)$$

где  $T$  – температура;  $\overline{\rho_2 C_{p2}} = m \rho_w C_{pw} + (1-m) \rho_r C_{pr}$ ;  $\rho_r$  – плотность породы;  $\rho_w$  – плотность жидкости;  $C_{pr}$  – теплоёмкость транзитной зоны;  $C_{pw}$  – теплоёмкость жидкости;  $d_1$  – тепловой ретардационный фактор, обусловленный теплопередачей в окружающую среду с <sup>$\beta-1$</sup> ;  $d_3$  – тепловой

ретардационный фактор, обусловленный теплопередачей из транзитной зоны в застойную зону;  $c^{\gamma-1}$ ;  $\alpha'$ ,  $\beta'$  – показатели производной.

Пусть полубесконечная пористая среда заполнена жидкостью с объемной концентрацией  $\tilde{c}_0$ . С момента  $t > 0$  в нее начинает поступать жидкость с объемной концентрацией вещества  $\tilde{c}_1$ . На бесконечности сохраняется первоначальная концентрация  $\tilde{c}_0$ . Тогда начальные и граничные условия имеют вид

$$\tilde{c}(0, x) = \tilde{c}_0, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (4)$$

$$\tilde{c}(t, 0) = \tilde{c}_1, \quad \tilde{c}(t, \infty) = \tilde{c}_0. \quad (5)$$

Первоначальная температура пласта была постоянной  $T_0$ , поступающая в пласт жидкость имеет температуру  $T_1 = \text{const}$ . Считаем, что до  $x = \infty$  температурный фронт не доходит и там температура остается равной первоначальной.

Таким образом, для (3) начальные и граничные условия можно записать в виде

$$T(0, x) = T_0, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (6)$$

$$T(t, 0) = T_1, \quad T(t, \infty) = T_0. \quad (7)$$

Уравнения (1) – (3) приводим к безразмерному виду. Для этого необходимо ввести характерные масштабы. Безразмерные переменные могут быть введены следующим образом:

$$X = \frac{x}{x_m}, \quad C = \frac{\tilde{c}}{\tilde{c}_m}, \quad \bar{t} = \frac{t}{t_m}, \quad \theta = \frac{T}{T_h}, \quad Pe = \frac{x_m^{1+\alpha}}{t_m D}, \quad Pe_h = \frac{x_m^2}{t_m D}, \quad (8)$$

$$b_1 = \frac{a_1}{m t_m^{\beta-1}}, \quad b_3 = \frac{a_3}{m t_m^{\gamma-1}}, \quad e_1 = \frac{d_1}{m t_m^{\beta-1}}, \quad e_3 = \frac{d_3}{m t_m^{\gamma-1}}, \quad V = \frac{v t_m}{m x_m},$$

где  $t_m$  – характерное время для переноса вещества и тепла;  $x_m$  – характерная длина для процессов переноса вещества и передачи тепла;  $\tilde{c}_m$  – характерная концентрация;  $T_h$  – характерная температура.

Безразмерное уравнение переноса вещества, соответствующее (1), имеет вид

$$\frac{\partial C}{\partial \bar{t}} + V \frac{\partial C}{\partial X} + b_3 \frac{\partial^\gamma C}{\partial \bar{t}^\gamma} + b_1 \frac{\partial^\beta C}{\partial \bar{t}^\beta} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial}{\partial X} \left( p \frac{\partial^\alpha C}{\partial X^\alpha} + (1-p) \frac{\partial^\alpha C}{\partial (-X)^\alpha} \right). \quad (9)$$

Начальное и граничные условия (4), (5) также приводятся к следующему безразмерному виду:

$$C(0, X) = C_0, \quad 0 \leq X < \infty, \quad C_0 = \frac{\tilde{c}_0}{\tilde{c}_m}, \quad (10)$$

$$C(\bar{t}, 0) = C_1, \quad C(\bar{t}, \infty) = C_0, \quad C_1 = \frac{\tilde{c}_1}{\tilde{c}_m}. \quad (11)$$

Уравнение переноса тепла (3) в безразмерных переменных (8) записывается следующим образом:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \bar{t}} + e_3 \frac{\partial^{\gamma'} \theta}{\partial \bar{t}^{\gamma'}} + e_1 \frac{\partial^{\beta'} \theta}{\partial \bar{t}^{\beta'}} + V \frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{1}{Pe_h} \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2}. \quad (12)$$

Безразмерные начальные и граничные условия для (12) имеют вид

$$\theta(0, X) = \theta_0, \quad 0 \leq X < \infty, \quad \theta_0 = \frac{T_0}{T_h}, \quad (13)$$

$$\theta(\bar{t}, 0) = \theta_1, \quad \theta(\bar{t}, \infty) = \theta_0, \quad \theta_1 = \frac{T_1}{T_h}. \quad (14)$$

Уравнение (9) в случае  $\alpha = 1$ ,  $p = 1$  переходит к

$$\frac{\partial C}{\partial \bar{t}} + V \frac{\partial C}{\partial X} + b_3 \frac{\partial^\gamma C}{\partial \bar{t}^\gamma} + b_1 \frac{\partial^\beta C}{\partial \bar{t}^\beta} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial X^2}. \quad (15)$$

Для решения задач (15), (10), (11) и (12), (13), (14) применяем метод конечных разностей [12]. В области  $D = \{0 \leq X < \infty, 0 \leq \bar{t} \leq t_{\max}\}$ , где  $t_{\max}$  – максимальное время, в течение которого исследуется процесс, вводим сетку с шагом  $h$  по направлению и  $\tau$  по времени. В результате имеем сетку  $\omega_{h\tau} = \{(X_i, \bar{t}_j), i = 0, 1, 2, \dots, j = 0, 1, \dots, J; X_i = ih; \bar{t}_j = j\tau; \tau = T/K\}$ .

Уравнения (15), (12) аппроксимируем на сетке  $\omega_{h\tau}$ , используя неявную разностную схему

$$\frac{C_i^{j+1} - C_i^j}{\tau} + V \frac{C_i^{j+1} - C_{i-1}^{j+1}}{h} + \frac{b_3}{\Gamma(2-\gamma)} \left[ \sum_{k=0}^{j-1} \frac{C_i^{k+1} - C_i^k}{\tau} ((j-k+1)^{1-\gamma} - (j-k)^{1-\gamma}) + \frac{(C_i^{j+1} - C_i^j)\tau^{1-\gamma}}{\tau} \right] + \frac{b_1}{\Gamma(2-\beta)}. \quad (16)$$

$$\left[ \sum_{k=0}^{j-1} \frac{C_i^{k+1} - C_i^k}{\tau} ((j-k+1)^{1-\beta} - (j-k)^{1-\beta}) + \frac{(C_i^{j+1} - C_i^j)\tau^{1-\beta}}{\tau} \right] = \frac{1}{Pe} \frac{C_{i+1}^{j+1} - 2C_i^{j+1} + C_{i-1}^{j+1}}{h^2}$$

$$\frac{\theta_i^{j+1} - \theta_i^j}{\tau} + \frac{e_3}{\Gamma(2-\gamma')} \left[ \sum_{k=0}^{j-1} \frac{\theta_i^{k+1} - \theta_i^k}{\tau} ((j-k+1)^{1-\gamma'} - (j-k)^{1-\gamma'}) + \frac{\theta_i^{j+1} - \theta_i^j}{\tau} \tau^{1-\gamma'} \right] +$$

$$+ \frac{e_1}{\Gamma(2-\beta')} \left[ \sum_{k=0}^{j-1} \frac{\theta_i^{k+1} - \theta_i^k}{\tau} ((j-k+1)^{1-\beta'} - (j-k)^{1-\beta'}) + \frac{\theta_i^{j+1} - \theta_i^j}{\tau} \tau^{1-\beta'} \right] + \quad (17)$$

$$+ V \frac{\theta_i^{j+1} - \theta_{i-1}^{j+1}}{h} = \frac{1}{Pe_h} \frac{\theta_{i+1}^{j+1} - 2\theta_i^{j+1} + \theta_{i-1}^{j+1}}{h^2}.$$

Начальные и граничные условия аппроксимируются как

$$C_i^0 = C_0, \quad i = 0, 1, \dots, I, \quad (18)$$

$$C_0^j = C_1, \quad C_I^j = C_0, \quad j = 0, 1, \dots, J, \quad (19)$$

$$\theta_i^0 = \theta_0, \quad i = 0, 1, \dots, I, \quad (20)$$

$$\theta_0^j = \theta_1, \quad \theta_I^j = \theta_0, \quad j = 0, 1, \dots, J, \quad (21)$$

где  $I$  – достаточно большое число, для которого приблизительно выполняются вторые из условий (19), (21).

Разностная схема (16) приведена к системе линейных уравнений

$$AC_{i-1}^{j+1} - BC_i^{j+1} + EC_{i+1}^{j+1} = -F_i^j, \quad i = \overline{1, I-1}, \quad j = \overline{0, J}, \quad (22)$$

где

$$A = -\frac{V\tau}{h} - \frac{\tau}{Pe h^2}; \quad B = -1 - \frac{V\tau}{h} - \frac{b_3\tau^{1-\gamma}}{\Gamma(2-\gamma)} - \frac{b_1\tau^{1-\beta}}{\Gamma(2-\beta)} - \frac{2\tau}{Pe h^2}; \quad E = -\frac{\tau}{Pe h^2};$$

$$F_i^j = \left( -1 - \frac{b_3\tau^{1-\gamma}}{\Gamma(2-\gamma)} - \frac{b_1\tau^{1-\beta}}{\Gamma(2-\beta)} \right) C_i^j + \frac{b_3}{\Gamma(2-\gamma)} \left[ \sum_{k=0}^{j-1} ((j-k+1)^{1-\gamma} - (j-k)^{1-\gamma}) C_i^{k+1} - \right. \\ \left. - ((j-k+1)^{1-\gamma} - (j-k)^{1-\gamma}) C_i^k \right] + \frac{b_1}{\Gamma(2-\beta)} \left[ \sum_{k=0}^{j-1} ((j-k+1)^{1-\beta} - (j-k)^{1-\beta}) C_i^{k+1} - ((j-k+1)^{1-\beta} - (j-k)^{1-\beta}) C_i^k \right].$$

Систему (22) решаем методом прогонки при известных  $C_{i-1}^{j+1}$  и  $C_i^j$ .

В расчетах использованы следующие значения исходных параметров:  $C_0=0, C_1=1, V=0.01, Pe=10^4$  и различные  $\beta, \gamma, b_1, b_3$ .

Некоторые представительные результаты показаны на рис.1–3. Как установлено, уменьшение показателя  $\beta$  от единицы приводит к отставанию развития профилей (см. рис.1,а). Учет массообмена между транзитными и застойными зонами, что наблюдается при  $b_3 \neq 0$ , приводит к еще

большему отставанию развития профилей (см. рис. 1,б). Следует заметить, что при одновременном учете переноса вещества в окружающую среду и массообмена между зонами влияние параметра  $\beta$  ослабевает. На рис.1,а влияние  $\beta$  на профили концентрации более существенно, чем на рис.1,б. Очевидно, что при относительно больших временах  $\bar{t}$  переходной процесс завершается и влияние членов  $b_1 \frac{\partial^\beta C}{\partial \bar{t}^\beta}$  и  $b_3 \frac{\partial^\gamma C}{\partial \bar{t}^\gamma}$  на концентрационные профили исчезает.

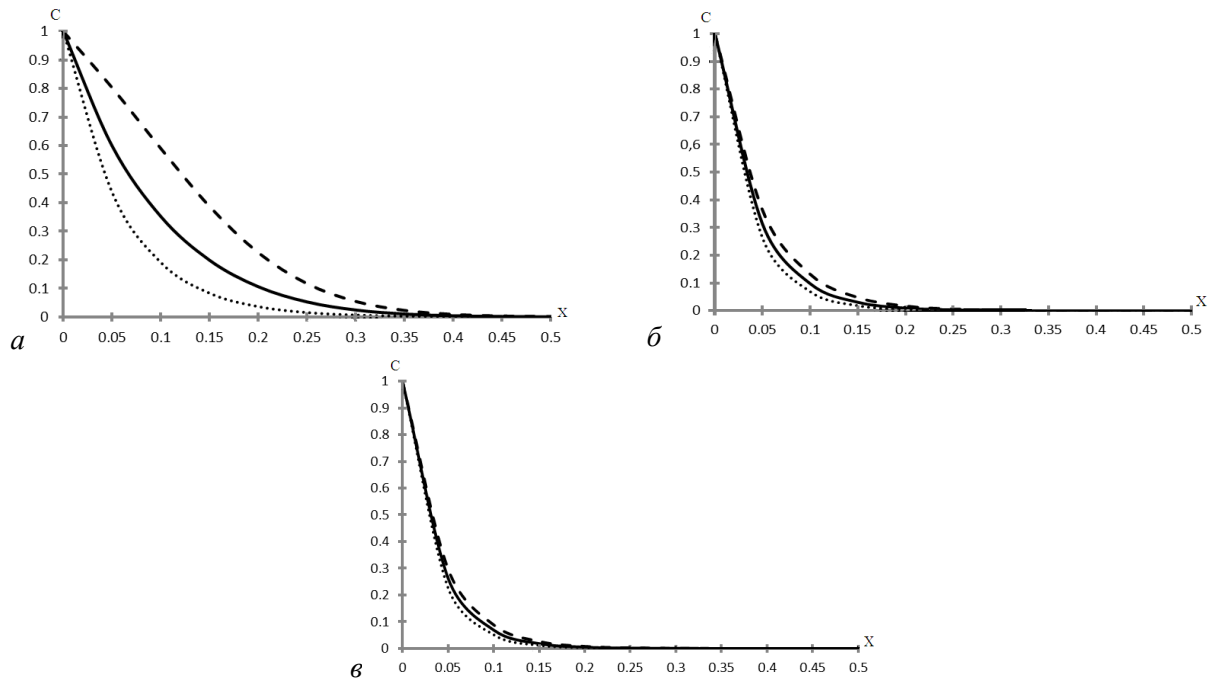


Рис. 1. Профили  $C$  при  $b_1=0.4, \gamma=0.5, b_3=0$  (а); 0.5 (б); 0.7 (в); .....  $\beta=0.5$ , \_\_\_\_\_  $\beta=0.7$ , - - - - -  $\beta=0.9$

Аналогично исследовано влияние показателя  $\gamma$  на концентрационные профили (см. рис.2). Как и  $\beta$ , уменьшение значений параметра  $\gamma$  от единицы приводит к запаздывающему развитию концентрационных профилей. Увеличение значений  $b_3$  приводит к увеличению переноса вещества из транзитной зоны в застойную. Поэтому происходит замедленное развитие профилей  $C$ , что можно объяснить как поглощение вещества в застойные зоны.

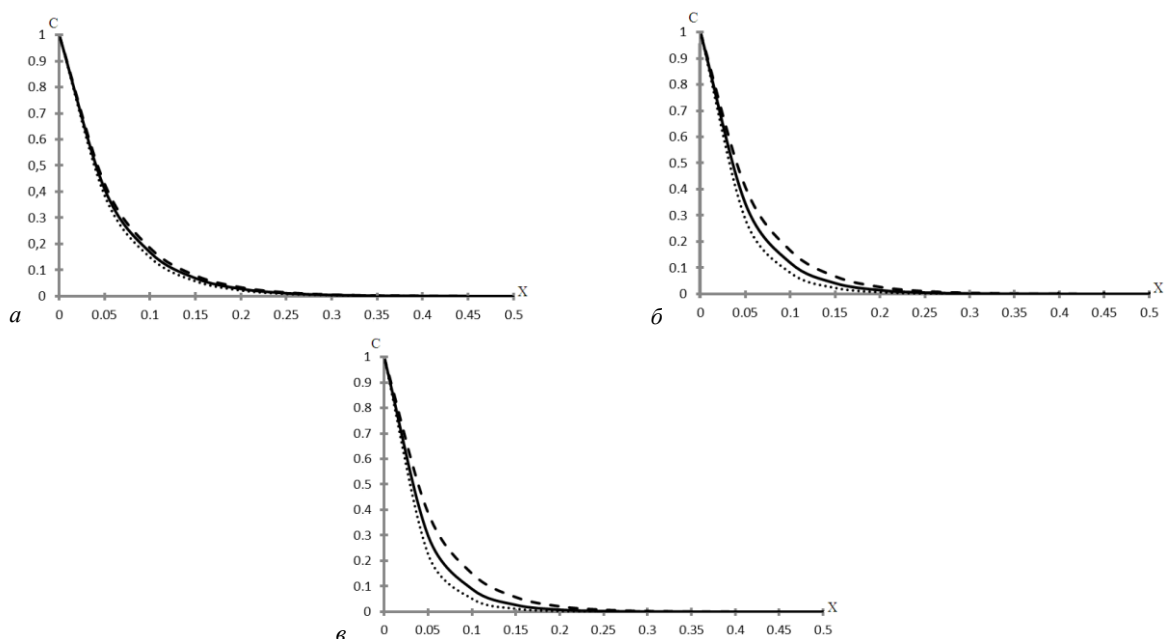


Рис. 2. Профили  $C$  при  $b_1=0.4, \beta=0.5, b_3=0.1$  (а); 0.4 (б); 0.7 (в); .....  $\gamma=0.5$ , \_\_\_\_\_  $\gamma=0.7$ , - - - - -  $\gamma=0.9$

На рис.3 представлены результаты при различных  $b_1$  и  $b_3$  и фиксированных  $\beta$  и  $\gamma$ . Как и следовало ожидать, увеличение значений  $b_1$  и  $b_3$  усиливает роль переноса вещества в окружающую среду и массопереноса в застойную зону. За счет этого происходит отставание в развитии профилей концентрации вещества в транзитной зоне. Можно заметить уменьшение зоны изменения концентраций вещества при увеличении как  $b_1$ , так и  $b_3$ . В этом отношении их действие на характеристики переноса вещества одинаково.

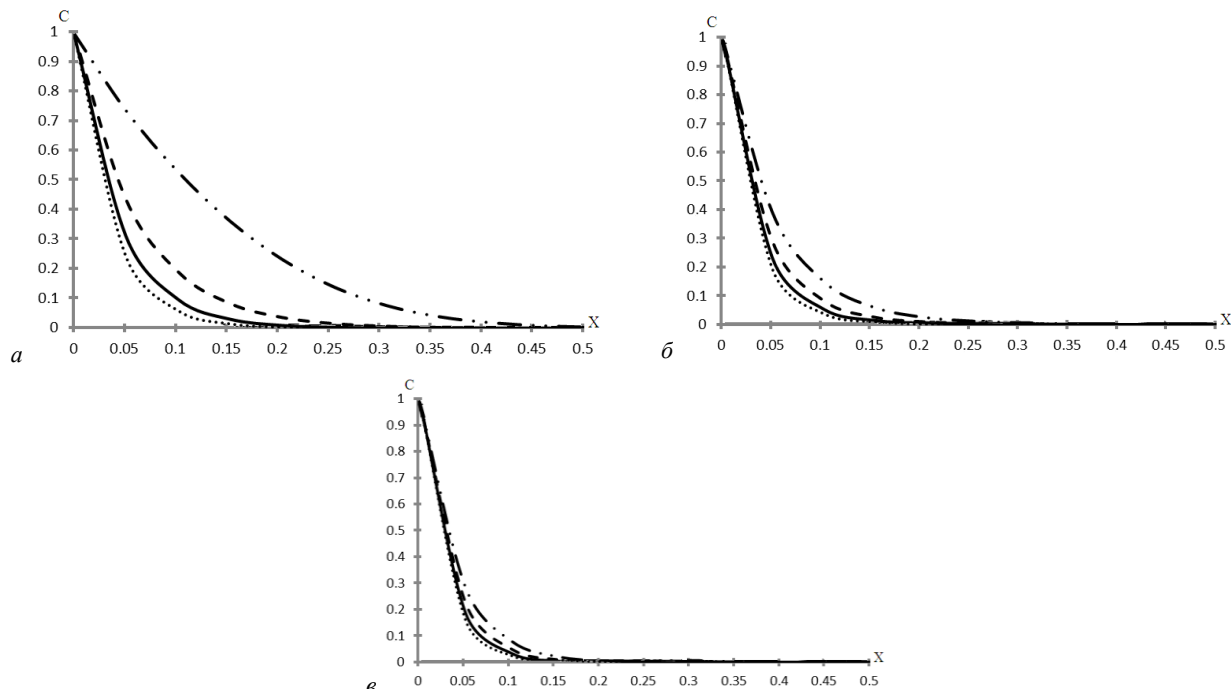


Рис. 3. Профили  $C$  при  $\beta=0.5$ ,  $\gamma=0.5$ ,  $b_3=0$  (а); 0.4 (б); 0.7 (в); — .. —  $b_1=0.1$ , .....  $b_1=0.4$ , \_\_\_\_\_  $b_1=0.4$ , - - - -  $b_1=1$

Разностная схема (17) также приведена к системе линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей коэффициентов, для решения которой применен метод прогонки.

В расчетах использованы следующие значения исходных параметров:  $\theta_0=0$ ,  $\theta_1=8$ ,  $V=0.01$ ,  $Pe_h=10^4$  и различные,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $e_1$ ,  $e_3$ . Численные результаты показывают, что влияние параметров  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $e_1$ ,  $e_3$  на распределение температуры вполне аналогично с влиянием параметров  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $b_1$ ,  $b_3$  на концентрационные профили. Это вполне ожидаемый результат, так как уравнения (9), (12) идентичны и не взаимосвязаны. В данной постановке изменение температурного поля не влияет на характеристики переноса вещества. При учете такого влияния уравнения (9), (12) становятся взаимосвязанными и об аналогии влияния параметров  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $e_1$ ,  $e_3$  и  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $b_1$ ,  $b_3$  уже нельзя говорить. Таким образом, при игнорировании влияния температурного поля на характеристики переноса вещества процессы распространения тепла и вещества могут быть изучены самостоятельно.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Fetter C. W. Applied Hydrogeology // Upper Saddle River. New Jersey: Prentice Hall, 2001, 3<sup>rd</sup> edition.
- [2] Fetter C. W. Contaminant Hydrogeology; Prentice-Hall. Upper Saddle River. NJ. USA. 1999. P. 58–70.
- [3] Barenblatt G.I., Entov V.M., Ryzhik V.M. Theory of Fluid Through Natural Rocks // Kluwer Academic Natural Publisher. Dordrecht. Boston. London. 1990.
- [4] Chen Z. X. Transient flow of slightly compressible fluids through double-porosity, double-permeability systems — A state-of-the-Art Review // Transport in Porous Media. Vol. 4. 1989. P. 147–184.
- [5] Anna Suzuki, Roland N. Horne, Hiroshi Makita, Yuichi Niibori, Sergei A. Fomin, Vladimir A. Chugunov, Toshiyuki Hashida. Development of fractional derivative-based mass and heat transport model // Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013.
- [6] Fomin S.A., Chugunov V.A. Hashida T. Non-Fickian mass transport in fractured porous media // Advances in Water Resources. Vol. 34(2). 2011. P. 205–214.
- [7] Benson D.A., Wheatcraft S.W., Meerschaert M.M. Application of a Fractional Advection-Dispersion Equation // Water Resources Research. Vol. 36(6). 2000. P. 1403–1412.
- [8] Хужаёров Б. Х. Фильтрация неоднородных жидкостей в пористых средах. Ташкент: Фан, 2012. –280 с.

- [9] Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М. Математические модели фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах. Ташкент: Фан, 2014. – 280 с.
- [10] Khuzhayorov B.Kh., Mahmudov J.M. Flow of Suspensions in 2D Porous Media with Mobile and Immobile Liquid Zones. // Journal of Porous Media. Vol. 13. 2010. No. 5. P. 423 – 437.
- [11] Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Зикиряев Ш.Х. Перенос вещества в пористой среде, насыщенной подвижной и неподвижной жидкостью // Инженерно-физический журнал. 2010. Т. 83. №2. С. 248 – 254.
- [12] Самарский А.А. Теория разностных схем. М.Наука. 1977.656 с.

Самаркандский государственный университет им. Алишера Навои

Дата поступления  
10.05.2016

**Б.Х. Хужаёров, Т.О. Джианов. Биржинсли бўлмаган говак муҳитда аномал модда кўчиши**

*Мақолада транзит ва транзитмас қисимлардан иборат биржинсли бўлмаган говак муҳитларда атроф муҳитга модда кўчиши ҳамда ички масса ва иссиқлик алмашинуви ҳисобга олиниб модда ва иссиқлик кўчиши масаласи сонли ечилган. Атроф муҳитга модда кўчиши, ички масса ва иссиқлик алмашинуви вақт бўйича каср ҳосилалар орқали моделлаштирилган. Температура ва концентрация майдонларига турли параметрларнинг таъсири ўрганилган.*

**B.Kh. Khuzhayorov, T.O. Djivanov. Anomalous solute transport in a non-homogeneous porous medium**

*In the paper a solute and heat transport problem in a non-homogeneous porous medium consisting of transit and non-transit parts with taking into account intrinsic mass and heat exchange and transport into surrounding medium is numerically solved. Intrinsic mass and heat exchange and transport into surrounding medium is modeled through time fractional derivatives of solute concentration and temperature. Influence of several parameters on concentration and temperature fields is studied.*

УДК 532.546

**Э.Ч. ХОЛИЯРОВ, О.Ш. ХАЙДАРОВ**

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ И ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ**

Обычно при описании релаксационной фильтрации используются различные феноменологические модели, учитывающие запаздывание в зависимости между скоростью фильтрации и градиентом давления. В отдельных случаях приходится учитывать запаздывание и в уравнениях состояния. Одна из первых работ в этом направлении – [1]. В работе [2] рассмотрены некоторые нестационарные одномерные задачи фильтрации при упругом режиме в предположении отставания градиента давления от скорости фильтрации [2]. В работе [3] обобщено уравнение фильтрации с учетом, как релаксации градиента давления, так и скорости фильтрации. Дальнейшее развитие теории релаксационной фильтрации в пористой среде дано в [4]. Здесь рассмотрим задачу определения коэффициента пьезопроводности и времени релаксации градиента давления для модели [2]. Эти коэффициенты определены из решения обратной задачи, для чего применяем метод идентификации [5]. Теория и методы решения обратных задач математической физики отражены в [6–11].

Уравнение одномерной фильтрации жидкости в пористой среде с учетом времени релаксации давления имеет вид [2]

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi \left( \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \lambda_p \frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t} \right), \quad (1)$$

где  $p$  – давление;  $x$  – координата;  $t$  – время;  $\chi$  – коэффициент пьезопроводности;  $\lambda_p$  – время релаксации градиента давления.

Рассмотрим задачу определения коэффициента пьезопроводности  $\chi$  и времени релаксации  $\lambda_p$  на основе дополнительной информации о давлении в некоторой заданной точке.

Будем искать  $\chi$  и  $\lambda_p$  из условия минимума функционала

$$J(\chi, \lambda_p) = \int_0^T [p(0, t) - z(t)]^2 dt, \quad (2)$$

где  $z(t)$  – наблюдаемые значения давления;  $p(0, t)$  – вычисленные значения давления в точке  $x=0$ .

Условие стационарности функционала (2) в векторной форме имеет вид

$$\frac{dJ}{dq} = 2 \int_0^T [p(x,t) - z(t)] w(x,t) dt = 0, \quad (3)$$

где  $w$  – вектор-столбец;  $q$  – вектор-строка, равный

$$\frac{dp}{dq} = w = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} dp/d\chi \\ dp/d\lambda_p \end{pmatrix}, \quad q = (q_1, q_2), \quad q_1 = \chi, \quad q_2 = \lambda_p.$$

Разложим в ряд функцию  $p$  в окрестности  $q$  с точностью до членов второго порядка

$$p^{s+1}(x, t) \approx p^s(x, t) + \begin{pmatrix} s+1 & s \end{pmatrix} (q - q^s) w^s(x, t). \quad (4)$$

Для сокращения записи здесь и далее считается, что верхний индекс  $s$  над обозначениями функций означает, что они вычисляются при значении  $q = q^s$ .

Подставляя в (3) разложение (4), получаем следующую систему линейных уравнений относительно  $\chi^{s+1}, \lambda_p^{s+1}$ :

$$\begin{aligned} a_{11}^{s+1} \chi^{s+1} + a_{12}^{s+1} \lambda_p^{s+1} &= b_1, \\ a_{21}^{s+1} \chi^{s+1} + a_{22}^{s+1} \lambda_p^{s+1} &= b_2, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} a_{11} &= \int_0^T w_1^s(0, t) dt, \quad a_{22} = \int_0^T w_2^s(0, t) dt, \quad a_{12} = a_{21} = \int_0^T w_1^s(0, t) w_2^s(0, t) dt, \\ b_1 &= \int_0^T \left[ w_1^s(0, t) \chi^s + w_2^s(0, t) \lambda_p^s - p^s(0, t) + z(t) \right] w_1^s(0, t) dt, \\ b_2 &= \int_0^T \left[ w_1^s(0, t) \chi^s + w_2^s(0, t) \lambda_p^s - p^s(0, t) + z(t) \right] w_2^s(0, t) dt. \end{aligned}$$

Продифференцируем уравнение (1) по  $\chi$  и  $\lambda_p$  и получаем следующие уравнения относительно  $w_1(x, t)$  и  $w_2(x, t)$ :

$$\frac{\partial w_1}{\partial t} = \chi \left( \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2} + \lambda_p \frac{\partial^3 w_1}{\partial x^2 \partial t} \right) + \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \lambda_p \frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial w_2}{\partial t} = \chi \left( \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} + \lambda_p \frac{\partial^3 w_2}{\partial x^2 \partial t} \right) + \chi \frac{\partial^3 p}{\partial x^2 \partial t}. \quad (7)$$

В уравнениях (1), (6), (7) подставляя  $\chi = \chi^s$  и  $\lambda_p = \lambda_p^s$ , получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p^s}{\partial t} &= \chi^s \left( \frac{\partial^2 p^s}{\partial x^2} + \lambda_p^s \frac{\partial^3 p^s}{\partial x^2 \partial t} \right), \\ \frac{\partial w_1^s}{\partial t} &= \chi^s \left( \frac{\partial^2 w_1^s}{\partial x^2} + \lambda_p^s \frac{\partial^3 w_1^s}{\partial x^2 \partial t} \right) + \frac{\partial^2 p^s}{\partial x^2} + \lambda_p^s \frac{\partial^3 p^s}{\partial x^2 \partial t}, \\ \frac{\partial w_2^s}{\partial t} &= \chi^s \left( \frac{\partial^2 w_2^s}{\partial x^2} + \lambda_p^s \frac{\partial^3 w_2^s}{\partial x^2 \partial t} \right) + \chi^s \frac{\partial^3 p^s}{\partial x^2 \partial t}. \end{aligned} \quad (8)$$

Численную реализацию изложенного метода рассмотрим на примере определения параметров  $\chi$  и  $\lambda_p$  в уравнения (1) в конечном пласте  $[0, L]$  с начальными и граничными условиями

$$p(x,0) = p_0, \quad v(0,t) = v_0 = -\frac{k}{\mu} \left( \frac{\partial p}{\partial x} + \lambda_p \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} \right) \Big|_{x=0}, \quad p(L,t) = p_0, \quad (9)$$

где  $p_0 = \text{const}$ ;  $v_0 = \text{const}$ ;  $v$  – скорость фильтрации;  $k$  – проницаемость пласта;  $\mu$  – вязкость жидкости.

Граничные и начальные условия для функции  $w_1(x, t)$  и  $w_2(x, t)$  могут быть получены из соответствующих условий для функции  $p(x, t)$  путем дифференцирования их по параметру  $\chi$  и  $\lambda_p$  соответственно:

$$w_1(x,0) = 0, \quad -\frac{k}{\mu} \left( \frac{\partial w_1}{\partial x} + \lambda_p \frac{\partial^2 w_1}{\partial x \partial t} \right) \Big|_{x=0} = 0, \quad w_1(L,t) = 0, \quad (10)$$

$$w_2(x,0) = 0, \quad -\frac{k}{\mu} \left( \frac{\partial w_2}{\partial x} + \lambda_p \frac{\partial^2 w_2}{\partial x \partial t} + \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial t} \right) \Big|_{x=0} = 0, \quad w_2(L,t) = 0. \quad (11)$$

Сначала численно решим уравнение (1) с условиями (9) при известных значениях для  $p_0 = 10$  МПа,  $v_0 = 1 \cdot 10^{-5}$  м/с,  $k = 1 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>,  $\mu = 1 \cdot 10^{-7}$  МПа·с,  $L = 100$  м,  $\lambda_p = \lambda_p^T = 1000$  с,  $\chi = \chi^T = 0.005$  м<sup>2</sup>/с и определяем решение в точке  $x=0$ . Затем используем в качестве «данных измерений»  $z(t_j) = p(0, t_j)$ , где  $t_j$  – дискретное время. График  $z(t)$  представлен на рис.1. Время  $t_j$  выбирается из временного слоя сетки, используемого в дальнейшем для разностного решения задачи. Величины  $z(t_j)$  вычислялись в точке  $x=0$  для различных  $t_j$ . Система уравнений (8) решается при условиях (9) – (11).

Численный алгоритм нахождения  $\chi$  и  $\lambda_p$  можно построить так: а) задаем некоторые начальные приближения  $\chi^0, \lambda_p^0$  (полагаем  $s=0$ ); б) решаем систему (8) с условиями (9) – (11) и определяем функции  $p^s, w_1^s, w_2^s$ ; в) вычисляем (2) и решаем систему уравнений (5); г) полагаем  $\chi^{s+1} = \chi^s, \lambda_p^{s+1} = \lambda_p^s$ ; д) повторяем этапы б, в, г до тех пор, пока не будет достигнута необходимая точность.

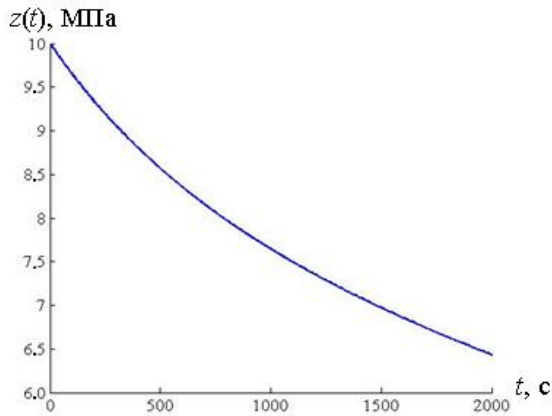


Рис. 1. График функции  $z(t)$

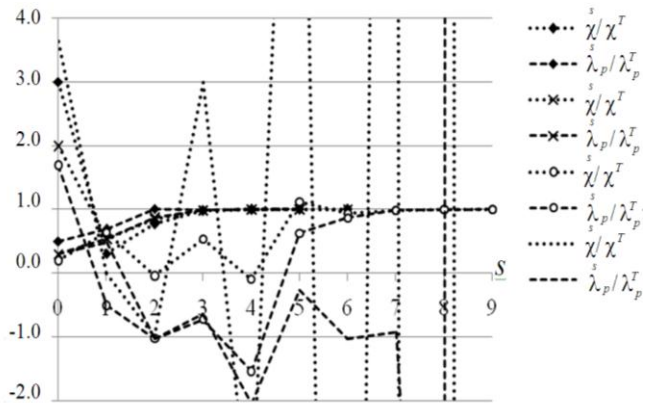


Рис. 2. Восстановление значений  $\lambda_p$  и  $\chi$  методом первого порядка при различных начальных приближениях

В качестве критерия окончания итерационного процесса может быть использовано одно из неравенств

$$\left| p^{s+1} - p^s \right| < \varepsilon_1, \quad \left| q_l^{s+1} - q_l^s \right| < \varepsilon_{2l}, \quad l = 1, 2, \quad \left| J(q^{s+1}) - J(q^s) \right| < \varepsilon_3 \quad \text{или их совокупность,}$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – заданные малые величины.

Систему уравнений (8) решим разностным методом [12].

Сетка разбивала координатный отрезок  $[0; 100]$  на 200 интервалов, временной отрезок  $[0; 2000]$  – на 4000 интервалов. «Данные измерений» подготовлены на основе этого решения в 800 точках «время».



В расчетах использованы следующие исходные данные:  $p_0=10$  МПа,  $v_0=1 \cdot 10^{-5}$  м/с,  $k=1 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>,  $\mu=1 \cdot 10^{-7}$  МПа·с,  $L=100$  м.

Результаты расчетов по определению коэффициентов  $\lambda_p$  и  $\chi$  методом первого порядка (решаем систему уравнений (5)) при различных нулевых приближениях  $\lambda_p^0$  и  $\chi^0$  представлены на рис. 2. Как видно, при различных нулевых приближениях  $\lambda_p^0$  и  $\chi^0$  коэффициенты  $\lambda_p$  и  $\chi$  восстанавливаются практически за 5 – 9 итераций. При значительном удалении начального приближения от точки равновесия  $\lambda_p$  и  $\chi$  не приближаются к равновесным значениям. Поэтому для решения данной задачи используем модифицированный метод второго порядка [5]. На каждом итерационном слое вместо функционала (2) используем функционал

$$J_M \left( q \right) = J \left( q \right) + \alpha \left( q - q^s \right)^2, \quad (12)$$

где  $\alpha$  – параметр регуляризации. На рис. 3–4 показано приближение к определяемым коэффициентам в зависимости от величины  $\alpha$ . Установлено, что при достаточно малых значениях  $\alpha$  можно получить удовлетворительное восстановление коэффициентов  $\lambda_p$  и  $\chi$  (см. рис. 3).

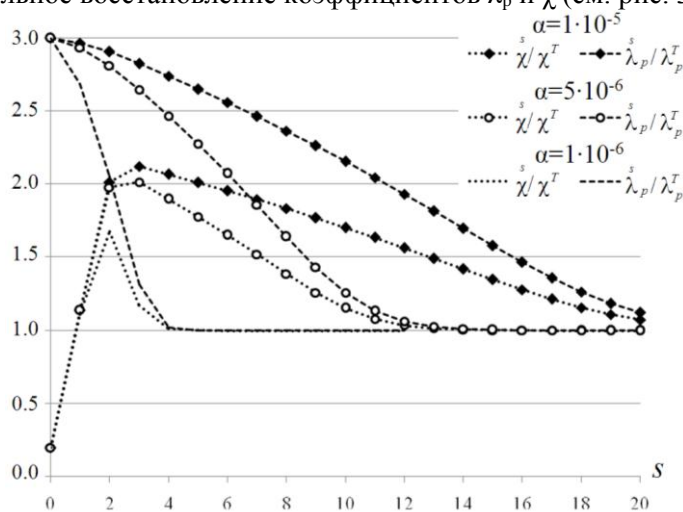


Рис. 3. Восстановление значений  $\lambda_p$  и  $\chi$  при различных начальных приближениях  $\alpha$

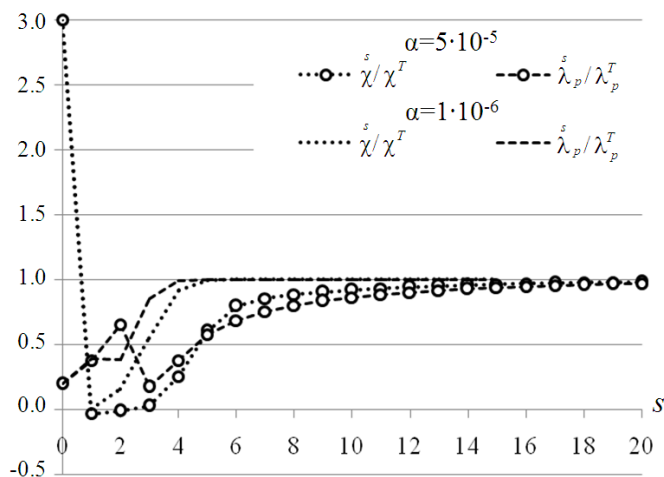


Рис. 4. Восстановление значений  $\lambda_p$  и  $\chi$  при различных начальных приближениях  $\alpha$

При решении обратных задач центральным вопросом является исследование устойчивости решения по отношению к погрешностям исходных данных [8]. Обычно для обеспечения устойчивости применяются методы регуляризации [8]. Здесь для исследования устойчивости решений, полученных различными методами, проводились вычислительные эксперименты с возмущенными исходными данными. Погрешность в задании исходных данных моделировалась следующим образом:

$$z^{\delta}(t) = z(t) + 2\delta(\sigma(t) - 0,5), \quad t = t_j,$$

где  $z^{\delta}(t)$  – возмущенные величины  $z(t)$ ;  $\delta$  – погрешность;  $\sigma(t)$  – равномерно распределенные на  $(0, 1)$  случайные величины. Результаты расчетов с возмущенными исходными данными приведены в таблице. Из представленных данных видно, что регуляризующий параметр  $\alpha$  существенно улучшает процесс восстановления коэффициентов  $\lambda_p$  и  $\chi$ .

Значения  $\lambda_p$  и  $\chi$  при различных  $\alpha$

$\delta$	$\alpha$	$S$	$\chi_0$ , м <sup>2</sup> /с	Расчетное значение $\chi$ , м <sup>2</sup> /с	Относительная погрешность $\chi$ , %	$\lambda_p^0$ , с	Расчетное значение $\lambda_p$ , с	Относительная погрешность $\lambda_p$ , %
0.1	0	7	0.015	0.00501034	0.20713	500.0	1000.14185	0.014185
0.1	$1 \cdot 10^{-5}$	15	0.015	0.00500996	0.19927	500.0	1000.00825	0.000825
0.2	0	8	0.015	0.005021	0.41458	500.0	1000.28540	0.028540
0.2	$1 \cdot 10^{-5}$	14	0.015	0.005020036	0.40073	500.0	1000.05022	0.005022
0.5	0	9	0.015	0.005051945	1.03891	500.0	1000.72635	1.03817
0.5	$1 \cdot 10^{-5}$	20	0.015	0.005051909	0.07264	500.0	1000.71401	0.07140

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Баренблатт Г. И. Неравновесные эффекты при фильтрации вязкоупругих жидкостей // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1973. №5. С. 76–83.
- [2] Алишаев М. Г. О нестационарной фильтрации с релаксацией давления // Труды Московского обл. пед. ин-та им. Н.К.Крупской. Гидромеханика. Вып. 111. М., 1974. С. 166–177.
- [3] Алишаев М. Г., Мирзаджанзаде А. Х. К учету явлений запаздывания в теории фильтрации // Изд. вузов. Нефть и газ. 1975. №6. С. 71–74.
- [4] Молокович Ю. М. и др. Релаксационная фильтрация. Казань: КГУ, 1980. – 136 с.
- [5] Бабе Г. Д., Бондарев Э. А., Воеводин А. Ф., Каниболотский М. А. Идентификация моделей гидравлики. Новосибирск: Наука, 1980. – 161 с.
- [6] Prilepko A. I., Orlovsky D. G., Vasin I. A. Methods for solving inverse problems in mathematical physics. New York: Marcel Dekker, 2000. – 710 p.
- [7] Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. Учебник для студентов высших учебных заведений. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009. – 457 с.
- [8] Samarskii A. A., Vabishchevich P. N. Numerical methods for solving inverse problems of mathematical physics. Berlin: Walter de Gruyter, 2000. – 439 p.
- [9] Hao D. Methods for inverse heat conduction problems. Peter Lang pub. Inc. 1998. – 249 p.
- [10] Beck J. V., Blackwell B., St. Clair C. R., Jr. Inverse Heat Conduction. Ill-posed Problems. A Wiley-Interscience Publication. New York, 1985. – 308 p.
- [11] Özisik M. N., Orlande H. R. Inverse heat transfer. Fundamentals and applications. New York: Taylor&Francis, 2000. – 331 p.
- [12] Самарский А. А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1983. – 616 с.

Самаркандский государственный университет им. Алишера Навои

Дата поступления  
10.05.2016

**Э.Ч. Холияров, О.Ш. Хайдаров. Босим ўтказувчанлик ва босим градиенти релаксация вақти коэффициентларини тесқари масала ечими асосида идентификациялаш**

Мақолада босим ўтказувчанлик ва босим градиенти релаксация вақти коэффициентларини тесқари масала ечими асосида идентификациялаш масаласи қаралган. Қўзғатилган маълумотлар учун регуляризация усули қўлланган. Биринчи ва иккинчи тартибли усуллар самарадорлиги солиштирилиб таҳлил қилинган.

**E.Ch. Kholiyarov, O.Sh. Khaydarov. Identification of pressure-conductivity and relaxation time of pressure gradient by solving of inverse problem**

In the paper the pressure-conductivity and the relaxation time for pressure gradient are identified by solving of inverse problem. The regularization method is used for perturbed initial data. Effectiveness of first and second order methods is comparatively analyzed.

Х. АХМЕДХОДЖАЕВ, А. КАРИМОВ, А. ТУРСУНОВ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ХЛОПКОВЫХ СЕМЯН В ДВУХКАМЕРНОМ СОРТИРОВЩИКЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Одна из основных задач хлопкоочистительных заводов – качественная переработка посевного хлопка-сырца с целью получения высококачественных посевных семян, служащих залогом получения высоких урожаев хлопчатника [1]. Анализ фракционного состава проджинированных семян показал, что наряду с мелким сором имеются недоразвитые щуплые и полностью оголенные, а также частично джинированные семена. Для отбора здоровых посевных семян необходима качественная сортировка проджинированных семян хлопка-сырца по фракциям.

Авторами [2–4] предлагается новый двухсекционный аэродинамический сортировщик (рис. 1) проджинированных семян.

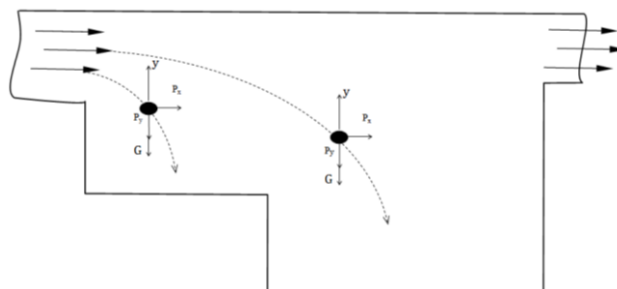


Рис. 1. Двухсекционный аэродинамический сортировщик

Применение данного сортировщика позволяет:

- снизить потребление электроэнергии;
- произвести качественное разделение семян по их массе, благодаря выбору оптимальной скорости воздушного потока.

**Математическая модель задачи.** Принимаем семя хлопчатника как элемент шаровидной формы с массой  $m$ . На эту массу действуют силы тяжести и сила воздушного потока. В рабочую камеру сортировщика семена поступают по сечению  $O-O'$ . Скорость воздуха  $V_0$  благодаря направлению изменяет направление на угол  $\varphi$  и в системе координат  $XOY$  разделяется на следующие составляющие:

$$V_{OX} = V_0 \cos \varphi; \quad V_{OY} = V_0 \sin \varphi.$$

Приведем численные значения основных параметров сортировщика:

$h_0=0.3$  м,  $h_1=0.5$  м,  $h_2=0.5$  м,  $h=1.3$  м,  $a_0=0.4$  м,  $b_0=1$  м,  $l_1=l_2=0.75$ ,  $0 \leq \varphi \leq \pi/4$ ,  $g=10$  м/с,  $V_0=16-26$  м/с.

Значения коэффициентов аэродинамического сопротивления по осям  $OX$  и  $OY$  следующие:

$$\kappa_x=0.1 \div 0.6, \quad \kappa_y=0.2 \div 0.8.$$

Определяем поверхности поперечного сечения рабочей камеры сортировщика. По сечению  $O-O'$

$$S_{OX} = b_0 \cdot h_0, \quad S_{OY} = b_0 \cdot a_0,$$

скорость воздуха

$$V_{OX} = V_0, \quad V_{OY} = 0.$$

Поверхность по сечению  $O-1$ :

$$S_{1X} = b_0 y, \quad S_{0Y} = b_0 x, \quad V_{1X} = \frac{S_{OX}}{S_{1X}} V_0 \cos \varphi_1;$$

$$S_{1Y} = \frac{S_{0Y}}{S_{1Y}} V_0 \sin \varphi_1, \quad h_0 \leq y \leq (h_0 + h_1);$$

$$0 \leq \varphi \leq 4, \quad 0 \leq x \leq l_1.$$

Поверхность по сечению 1–2:

$$S_{2x} = b_0 y, \quad S_{2y} = b_0 x, \quad \mathcal{G}_{2x} = \frac{S_{0x}}{S_{2x}} \mathcal{G}_0 \cos \varphi, \quad \mathcal{G}_{2y} = \frac{S_{0y}}{2} \mathcal{G}_0 \sin \varphi,$$

$$(h_0 + h_1) \leq y \leq h_1, \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{4}, \quad l_1 \leq x \leq (l_1 + l_2).$$

Система наружных сил, действующих на семена в рабочей камере, следующие:

$$\begin{cases} |\vec{F}| = \sqrt{(\mathcal{G}_{0x} - \dot{x})^2 + (\mathcal{G}_{0y} - \dot{y})^2} \\ F_x = \mathcal{G}_{0x} - \dot{x}; F_y = \mathcal{G}_{0y} - \dot{y}; \\ \vec{P} = |\vec{F}| * \left[ \frac{F_x}{|\vec{F}|} \vec{i} + \frac{F_y}{|\vec{F}|} \vec{j} \right] \\ P_x = |\vec{F}| * F_x; P_y = |\vec{F}| * F_y; \end{cases} \quad (1)$$

$G = mg$  – сила тяжести;  $v_{ox}, v_{oy}$  – скорости движения воздуха;  $x'(t), y'(t)$  – абсолютные значения скоростей по ОХ и ОУ.

По второму закону динамики и принципу Даламбера составляем дифференциальное уравнение движения семян по секциям сортировщика. Система дифференциальных уравнений, выражающих законы движения семян в сечении О–1:

$$\begin{cases} \ddot{x}|t| = \kappa_x (\mathcal{G}_{0x} - \dot{x}) \sqrt{(\mathcal{G}_{1x} - \dot{x})^2 + (\mathcal{G}_{1y} - \dot{y})^2} \\ \ddot{y}|t| = \kappa_y (\mathcal{G}_{0y} - \dot{y}) \sqrt{(\mathcal{G}_{1x} - \dot{x})^2 + (\mathcal{G}_{1y} - \dot{y})^2} \end{cases} \quad (2)$$

Начальные условия:

$$\begin{cases} x|t| = 0, & \dot{x}|t| = 0 \\ y|t| = 0, & \dot{y}|t| = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\kappa_x = 0.2; 0.35; 0.45; 0.50; 0.55; 0.6; \quad \kappa_y = 0.2; \quad 0 \leq \varphi \leq \pi/4.$$

То же в сечении 1-2

$$\begin{cases} \ddot{x}|t| = k_x (\mathcal{G}_{1x} - \dot{x}) \sqrt{(\mathcal{G}_{2x} - \dot{x})^2 + (\mathcal{G}_{2y} - \dot{y})^2} \\ \ddot{y}|t| = k_y (\mathcal{G}_{2y} - \dot{y}) \sqrt{(\mathcal{G}_{2x} - \dot{x})^2 + (\mathcal{G}_{2y} - \dot{y})^2} \end{cases} \quad (4)$$

Начальные условия:

$$\begin{cases} x(t_0) = l_1, & \dot{x}(t_0) = \mathcal{G}_x(t_0) \\ y(t_0) = (h_0 + h_1), & \dot{y}(t_0) = \mathcal{G}_y(t_0) \end{cases} \quad (5)$$

$$\kappa_x = 0.55; 0.6; 0.75; \kappa_y = 0.2; 0.3; 0.4. \quad 0 \leq \varphi \leq \pi/4.$$

Вышеуказанные уравнения дифференциальной системы вычислялись по программе MAPLE-9.5. На рис. 2 – 6 приведены графики движения семян, зависимости их относительной и абсолютной скоростей от времени.

**Анализ результатов исследований.** На рис. 2, 3 приведены закономерности движения семян по фракциям в первой секции сортировщика, на рис. 2 – графики изменения движения семян в горизонтальном направлении в зависимости от времени:

$\kappa_x=0.2$	при	$\kappa_y=0.2$	$m_1=0.8$	1-й график
$\kappa_x=0.35$			$m_2=0.26$	2-й график
$\kappa_x=0.45$			$m_3=0.20$	3-й график
$\kappa_x=0.50$			$m_4=0.18$	4-й график
$\kappa_x=0.55$			$m_4=0.16$	5-й график
$\kappa_x=0.60$			$m_5=0.22$	6-й график.

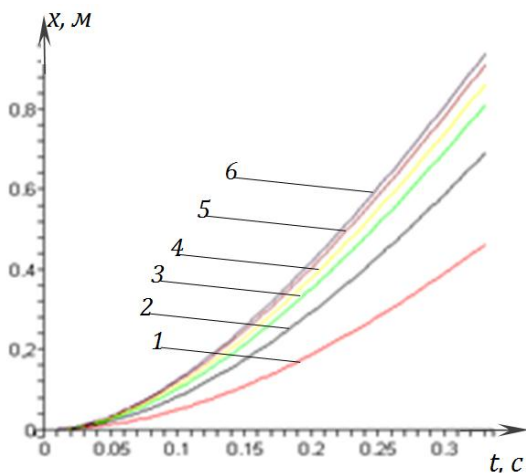


Рис.2. Зависимости изменения движения хлопковых семян с течением времени

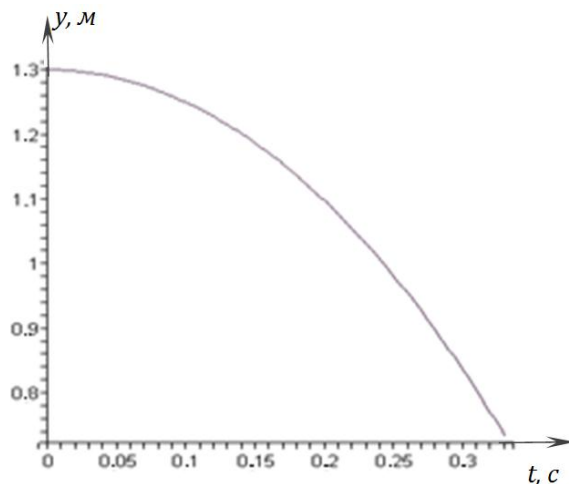


Рис.3. Закономерности движения хлопковых семян в вертикальном направлении с течением времени

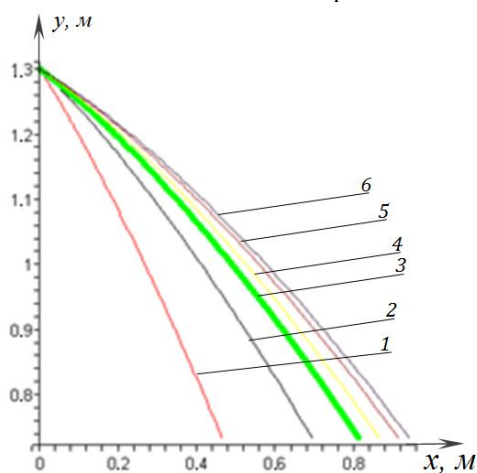


Рис. 4. Закономерности падения хлопковых семян в первой секции

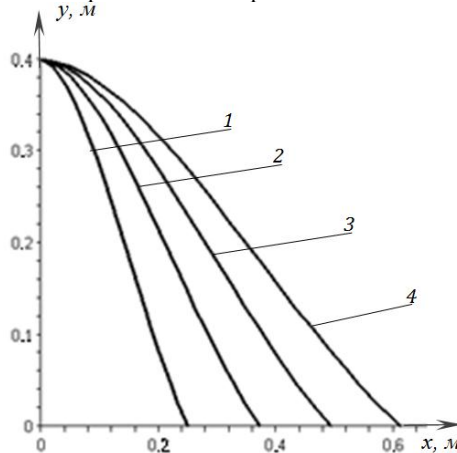


Рис.5. Распределение хлопковых семян при разных скоростях падения 1, 2-секции.

На рис. 3 – график изменения движения семян по вертикали в зависимости от времени;  $\kappa_x=0.2; 0.35; 0.45; 0.50; 0.55; 0.6$ , на графиках рис. 4 – закон зависимости пролета семян в первой секции  $y(x)$  от  $\kappa_x=0.2; 0.35; 0.45; 0.50; 0.55; 0.6$  и  $\kappa_y=0.2$  (1–6 графики). Увеличение коэффициента сопротивления  $\kappa_x$ , обозначающего степень волокнистости семян, приводит к увеличению расстояния пролета по длине основания камеры. Таким образом, семена с коэффициентом сопротивления  $\kappa_x=0.2; 0.35; 0.45$  распределяются по первой секции на расстояниях  $x(0.2)=0.46\text{м}$ ;  $x(0.35)=0.64\text{м}$ ;  $x(0.45)=0.8\text{м}$ . Семена с коэффициентом сопротивления  $\kappa_x \geq 0.48$ , в основном, выпадают в две секции, т.е.  $x(\kappa_x \geq 0.5) \geq 0.8\text{ м}$ .

Законы движения семян с коэффициентом сопротивления  $\kappa_x \geq 0.5$  показаны на рис. 5. Время пролета семян  $t=0.3\text{ с}$  в первой секции показано на рис.3. Начиная с  $t > 0.3\text{ с}$  семена с коэффициентом сопротивлением  $\kappa_x \geq 0.5$  движутся к основанию камеры по второй секции. Семена, в основном, падают в конце второй секции, т.е. легкие семена с высокой степенью волокнистости падают во второй секции, оголенные тяжелые семена – в первой секции. На графиках рис.6 показаны закономерности распределения семян в первой и второй секциях при скоростях потока воздуха  $V_0=16, 18, 20$ ,

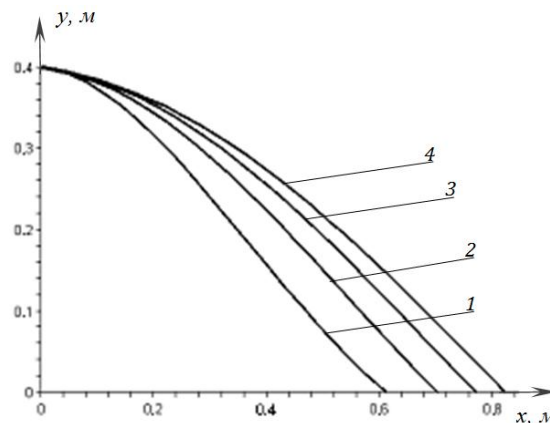


Рис.6. Зависимости наклона регулятора летания хлопковых семян 1,2-секций

22, 24, 26 (графики 1–4). Как видно при скорости  $V_0=16.18$  м/с, семена падают в первую секцию, при скорости  $V_0=18$  м/с – во вторую секцию. Из рис. 2–4 можно видеть оптимальный процесс разделения семян на фракции в первой и второй секциях при угле  $\varphi=0.2$  рад при изменении угла  $\varphi=0; 0.2; 0.4; 0.6; 0.7$ , изменяя поток воздуха с помощью регулятора.

Таким образом, разработана математическая модель, показывающая закономерность движения двух несвязанных и частично связанных семян в двухсекционной сортировочной камере, и решена численным методом на программе MAPLE 9.5. Определено расстояние распределения семян на фракции по их массе на двухсекционном сортировщике. Получены графики закономерности движения семян, рассмотренных в виде несвязанных дискретных тел. Определены расстояния пролета массы семян по длине сортировочной камеры. Получены закономерности движения семян при различных скоростях воздуха и определены расстояния пролета семян в сортировочной камере.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сорокин Н. С. Аспирация машин и пневматический транспорт в текстильной промышленности. М. 1970. С. 5–10.
- [2] Ахмедходжаев Х. Т., Турсунов А. Пневматический сортировщик хлопковых семян // Хлопководство и зерноводство. 2000. №2. С. 30–32.
- [3] Ахмедходжаев Х. Т., Турсунов А. Движение хлопковых семян под действием горизонтального воздушного потока // Международная научная конференция. Наманган. 2002. С. 22–23.
- [4] Ахмедходжаев Х. Т., Турсунов А., Каримов А. Изучение движения оголенных семян в горизонтальной аэродинамической установке с переменным сечением // Проблемы механики. 2005. №2. С. 56–57.

Наманганский инженерно-технологический институт

Дата поступления  
23.05.2016 г.

*Х. Ахмедходжаев, А. Каримов, А. Турсунов. Уруғлик пахта чигитини икки секцияли горизонтал аэродинамик саралагич камерасида ҳаракатланиш қонуниятларини ўрганиш*

*Мақолада горизонтал ҳаво оқими таъсирида чигитларни фракциялар бўйича саралаш муаммоси кўрилган. Икки секцияли саралаш камерасида чигитларнинг массалари бўйича тақсимланиш қонуниятларини ўрганиш учун математик модел таклиф қилинган. Бу қонуниятларни ҳаво оқими тезлигига ва қаршиллик коэффициентларига боғлиқлиги ўрганилган.*

*X. Axmedhodjaev, A. Karimov, A. Tursunov. Problem of the sorting cotton is considered in article on faction under the action two seksion of horizontal current of the air*

*Problem of the sorting cotton is considered in article on faction under the action two seksion of horizontal current of the air. The mathematical model is Offered for study distribution on mass cotton in sorting camera. The Explored dependency given distribution from volecity of the current of the air and factor of the resistances.*

УЎК 667.21.021.152

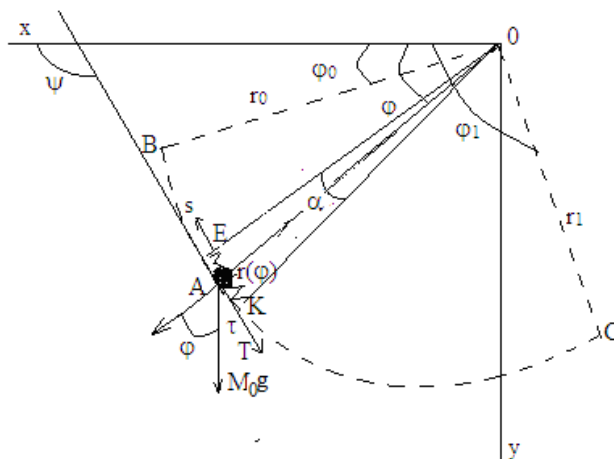
**Э.Э. ГАИБНАЗАРОВ, А.А. ОБИДОВ, М. КАМОЛИДДИНОВ**

### **ЧИГИТЛИ ПАХТА ТАРКИБИДАГИ МАЙДА ВА ЙИРИК ЗАРРАЧАЛАРНИ МЕХАНИК ТАЪСИРДА АЖРАТИШНИНГ НАЗАРИЙ ТАДҚИҚИ**

Пахта хом ашёсини дастлабки ишлаш технологиясининг толани чигитдан ажратиш жараёнида хом ашё айрим ифлосликлардан тозаланади. Ифлосликлар йирик, майда органик аралашмалардан иборат бўлиб, уларни хом ашёдан тозалаш учун махсус технологик жараёнлар амалга оширилади. Тозалаш технологиясида чигитли пахтани ифлосланиши икки кўрсаткич билан баҳоланади. Биринчиси билан хом ашё таркибидаги ифлосликлар микдорий баҳоланса, иккинчиси сифат кўрсаткичи бўлиб, бу кўрсаткич воситасида ифлослик заррачаларининг ўлчамлари ва уларнинг хом ашёдаги тола билан бириккан кучлари баҳоланади. Ифлосликлар ўлчамларига қараб хом ашёнинг сиртида ва ички соҳасида тарқалган бўлади, бу ерда майда заррачалар хом ашё ( пахта бўлакчалари) ички соҳасига чуқурроқ жойлашган бўлиб, уларни хом ашёдан ажратиш анча мураккаб бўлади, уларга юқори даражадаги зарба ва силкитиш таъсирлари бериш зарурдир. Бундай ҳолат тола массасини ифлосликлардан тозалаш жараёнида ҳам мавжуд бўлади [1–3].

Биз асосий эътиборимизни хом ашё таркибидан майда ифлосликларни тозалаш муаммосига қаратамиз ва шу муносабат билан майда заррачаларнинг тола массаси таркибидан ажратиш модели ҳақида сўз юритамиз. Заррачани тола таркибидан ажратиш механизми жуда мураккаб бўлиб, уни назарий томондан етарли ўрганилмаган. Бунинг сабаби заррача билан тола орсидаги боғланиш кучлари маълум эмас. Одатда қўлланиладиган кучлар схемаси жараёни тавсифлаш учун етарли эмас. Шунинг учун бу жараёни бошқа усуллар билан ўрганиш мақсадга мувофиқдир. Кузатишлар натижалари статистика асосида қайта ишланса, дастлабки хулосалар қилиш мумкин. Агар тола тўрли юза бўйлаб ҳаракатда бўлса, қисман заррачалар юзадан ажралиб чиқиши мумкин. Толага зарба ёки силкитиш кучи таъсир этса, у ҳолда заррачаларда толага нисбатан ҳаракат содир бўлади, бу ўз навбатида уни юзадан ажралиб кетиш интенсивлигини оширади. Тола массасининг тўрли юза бўйлаб ҳаракати давомида унинг таркибидаги заррача билан тўрли юза орасида контакт кучи ҳосил бўлиб, унинг таъсири остида заррачалар фазовий ҳаракатга келади, бунинг натижасида уларнинг бир қисми юзанинг очиқ жойларидан ташқарига чиқиб кетади. Шундай механизмни тавсифлаш учун А.Г.Севастьянов [1] томонидан модел таклиф этилган. Бу моделга кўра, тўрли юзадаги заррача микдорининг камайиши унинг микдорига ва юза бўйлаб ҳаракат тезлигига пропорционал бўлади. Шу модел асосида ёлғиз пахта бўлакчаси таркибидан ифлослик заррачаларини ажратиш жараёнини назарий ўрганиб чиқамиз.

Заррача ажралиш жараёнини моделлаштиришдан олдин пахта бўлак-часининг тўрли сирт устидаги тезлигини аниқлаш лозим бўлади. Фараз қилайлик бошланғич массаси  $M_0$  бўлган пахта бўлакчаси  $t=0$  моментдан бошлаб тўрли юзада ҳаракатда бўлиб, заррачалар ажралиши сабабли унинг массаси  $M$  га тенг бўлсин. Координата бошини  $O$  нуктада олиб,  $Ox$  ўқини горизонт бўйлаб ўнгдан чапга, ордината ўқи  $Oy$  ни унга перпендикуляр қилиб юқоридан пастга йўналтирамиз (1-расм). Бўлакча юзада  $BC$  эгри чизик бўйлаб бир ўлчовли ҳаракат қилади. Поляр кутбни  $0$  нуктада ўрнатиб,  $BC$  эгри чизик тенгламасини кутб координата системасида  $r=r(\varphi)$  деб қабул қиламиз. Бўлакча тўрли юзанинг  $B(\varphi_0, r_0)$  нуктасидан бошлаб ҳаракат қилади ва  $C(\varphi_1, r_1)$  нуктада юзадан чиқиб кетади (бу ерда  $r_0=r(\varphi_0)$ ,  $r_1=r(\varphi_1)$ ). Фараз қилайлик  $t>0$  моментда бўлакча  $BC$  чизикнинг  $A(r(\varphi), \varphi)$  нуктасида бўлиб  $B$  нуктадан  $s$  масофада бўлсин. Бўлакчанинг массаси ўзгармас моддий нукта деб қабул қиламиз ва унинг  $BC$  чизик устидаги ҳаракат тенгламаси ва нормал куч ифодасини ёзамиз.



1-расм. Бўлакчанинг тўрли юза сиртида ҳаракат схемаси

$$M_0 \frac{d^2 s}{dt^2} = T + M_0 g \sin \psi, \quad N = \frac{M_0 \dot{s}^2}{\rho(\varphi)} - M_0 g \cos \psi. \quad (1)$$

Бу ерда контакт сақланиши учун  $N>0$  деб қабул қилиниши лозим,  $\psi$  –  $BC$  чизикнинг  $A$  нуктасидан ўтказилган уринманинг  $Ox$  ўқи билан ташкил этган бурчаги.  $x=r(\varphi)\cos\varphi$ ,  $y=r(\varphi)\sin\varphi$  боғланишлардан қуйидаги ифодаларни оламиз

$$\sin \psi = \frac{tg \psi}{\sqrt{1+tg^2 \psi}} = \frac{r' \sin \varphi + r \cos \varphi}{\sqrt{r^2 + r'^2}}, \quad \cos \psi = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2 \psi}} = \frac{r' \cos \varphi - r \sin \varphi}{\sqrt{r^2 + r'^2}},$$

$$\rho = \frac{(r^2 + r'^2)^{3/2}}{r^2 + 2r'^2 - rr'}$$

(1) тенгламада  $T$  билан бўлакчага таъсир этаётган уринма кучлар йиғиндиси белгиланган. Бу йўналишда бўлакчага оғирлик кучининг проекцияси, Кулон кучи, ҳамда қозик орқали бўлакчага зарба кучи таъсир этади. Бўлакча зарба кучини қисман сўндиради. Шунинг учун бу кучни

бўлакча билан қозик кўчишлари ва тезликларининг айирмасига пропорционал қилиб оламиз.  $T = -fN + k(v_0 t - s) + \eta(v_0 - \dot{s})$ ; бу ерда  $f$  – келтирилган ишқаланиш коэффициентини (уни ҳисоблаш учун қуйидаги формула тавсия этилади  $f = f_0 (1 - S/S_0)$ ;  $f_0$  – ёпик (тўрсиз) сирт билан бўлакча орасидаги ишқаланиш коэффициентини,  $S_0$  – унинг юзаси,  $S$  – тўрли сирт очик қисмининг юзаси),  $v_0$  – қозикчаниннг чизиқли тезлиги,  $k, \eta$  – эластиклик ва қовушқоқлик пропорционаллик коэффициентлари.

Юқоридаги ифодалар эътиборга олинса, (1) тенгламалар қуйидаги кўринишни олади

$$M_0 \ddot{s} = -2k(s - v_0 t) - 2\eta(\dot{s} - v_0) + \frac{M_0 g}{\sqrt{r^2 + r'^2}} [r' \sin \varphi + r \cos \varphi + f r' \cos \varphi - r \sin \varphi] - f M_0 \dot{s}^2 \frac{r^2 + 2r'^2 - rr'}{\sqrt{r^2 + r'^2}} \quad (2)$$

Бу тенглама билан бирга масофа  $s$  билан кутб бурчаги  $\varphi$  орасидаги дифференциал боғланишни қараймиз

$$\dot{s} = \dot{\varphi} \sqrt{r^2 + r'^2} \quad (3)$$

(2) ва (3) тенгламалар масофа  $s=s(t)$  ва кутб бурчаги  $\varphi=\varphi(t)$  аниқлаш учун системани ташкил этади. Бу система  $s(0)=0$ ,  $\dot{s} = v_k$ ,  $\varphi(0) = \varphi_0$ ,  $\dot{\varphi}(0) = v_k / \sqrt{r_0^2 + r'^2(\varphi_0)}$  шартларда интегралланади, бу ерда  $v_k$  бўлакчаниннг бошланғич тезлиги.

Одатда бўлакча тўрли юзада икки қолосник орасида жойлашган бўлиб, эластиклик элементи таъсирида унинг ҳаракати мураккаб бўлади ва қолосниклар билан биргаликда, ҳамда уларга нисбатан нисбий ҳаракатда бўлади. Шунинг учун унинг абсолют кўчишини йиғинди  $s=v_0 t + s_0(t)$  кўринишида олиб, (2) тенгламани нисбий кўчиш  $s_0(t)$  га нисбатан ёзамиз

$$M_0 \ddot{s}_0 = -k s_0 - \eta \dot{s}_0 + \frac{M_0 g}{\sqrt{r^2 + r'^2}} [r' \sin \varphi + r \cos \varphi + f r' \cos \varphi - r \sin \varphi] - f M_0 (v_0 + \dot{s}_0)^2 \frac{r^2 + 2r'^2 - rr'}{\sqrt{r^2 + r'^2}} \quad (4)$$

$$\dot{s}_0 = \dot{\varphi} \sqrt{r^2 + r'^2} - v_0 \quad (5)$$

(4) ва (5) тенгламалари ечиш учун қуйидаги бошланғич шартлар қабул қилинади  $s_0=0$ ,  $\dot{s}_0 = v_k - v_0$ ,  $\varphi(0) = \varphi_0$ ,  $\dot{\varphi}(0) = v_k / \sqrt{r_0^2 + r'^2(\varphi_0)}$ .

Хусусан  $BC$  эгри чизиқ айлана бўлса, у ҳолда  $r=r_0 = r_1$ ,  $r'=0$  бўлиб, (2) тенглама  $\varphi = v_0 t / r_0 + \varphi_*(t) + \varphi_0$  тенгликни эътиборга олган ҳолда нисбий  $\varphi_*$  бурчакни топиш тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$\varphi_*'' + \omega^2 \varphi_* + 2n\varphi_*' + f(\varphi_*' + \bar{v}_0)^2 - \cos(\varphi_* + \varphi_0 + \bar{v}_0 \tau) + f \sin(\varphi_* + \varphi_0 + \bar{v}_0 \tau) = 0. \quad (6)$$

Бу ерда

$$\varphi_*' = \frac{d\varphi_*}{d\tau}, \quad \varphi_*'' = \frac{d^2\varphi_*}{d\tau^2}, \quad \tau = t \sqrt{g/r_0}, \quad \omega^2 = \frac{2kr_0}{M_0 g}, \quad n = \frac{\eta}{M_0} \sqrt{\frac{r_0}{g}}, \quad \bar{v}_0 = v_0 / \sqrt{r_0 g}.$$

Бошланғич шартлар қуйидагича бўлади

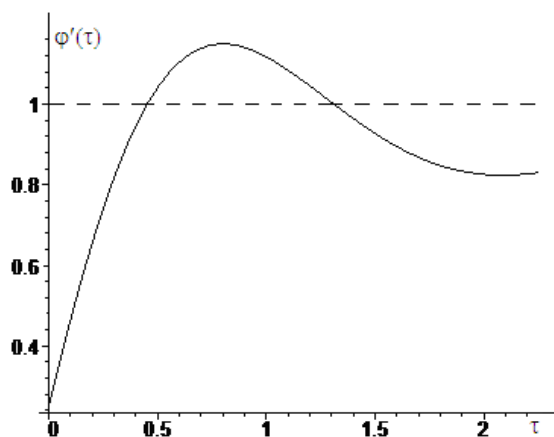
$$\varphi_*(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_*(0) = \bar{v}_k - \bar{v}_0 \quad (\bar{v}_k = v_k / \sqrt{r_0 g}).$$

2 – расмда бўлакчаниннг  $BC$  чизиқ бўйлаб тезлиги  $\varphi'(\tau)$  нинг ўлчамсиз вақт  $\tau = t \sqrt{g/r_0}$  бўйича ўзгариш  $\bar{v}_k$  нинг ҳар-хил қийматларидаги графиклари келтирилган. Ҳисобларда  $f=0.3$ ,  $\bar{v}_0 = 1$ ,  $\varphi_0=30^\circ$ ,  $\varphi_1=120^\circ$   $\omega^2=5$ ,  $n=0$  қабул қилинган. Пунктир чизиқ билан бўлакча қолосник билан абсолют боғланган ҳолидаги ( $k \rightarrow \infty$ ) тезлиги кўрсатилган. Графиклар таҳлили бўлакча сиртининг эластик хусусияти унинг тезлигига муҳим таъсир ўтказиши мумкинлигини кўрсатапти. Агар

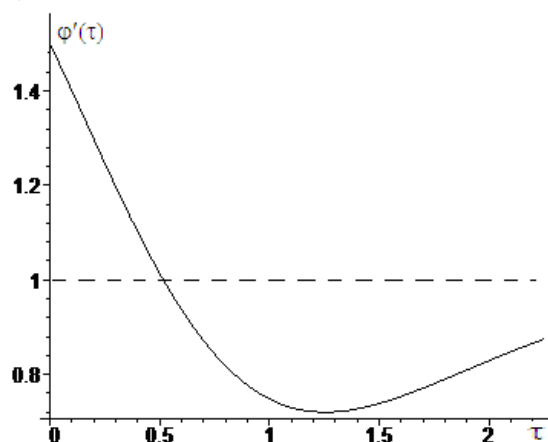


бўлакчанинг бошлангич тезлиги  $v_k < v_0$ , бўлса, вақт давомида бўлакча қозикча тезлигига эришиб тўпланган эластик куч таъсирида унинг тезлигидан қисман ошиши, агар  $v_k \geq v_0$  бўлса, бўлакча, эластик кучнинг қовушқоқлик хусусияти сабабли, ўз тезлигини йўқотиши мумкинлиги кузатишган.

$$\bar{v}_k = 0.25$$



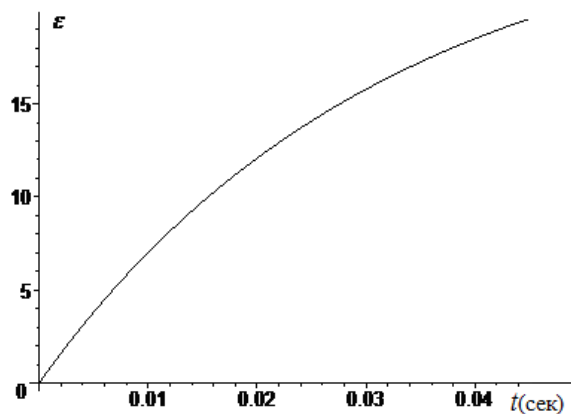
$$\bar{v}_k = 1.5$$



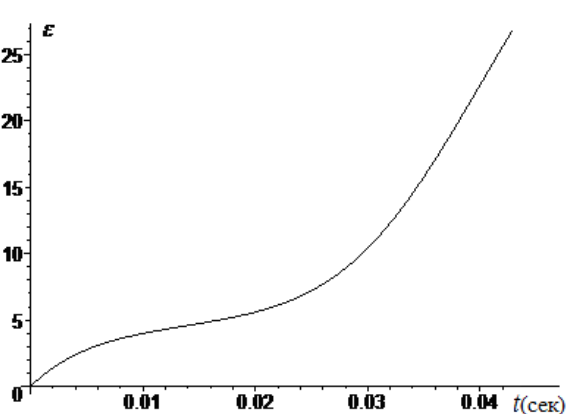
2-расм. Бўлакча ўлчамсиз бурчак тезлиги  $\varphi'$  нинг  $\bar{v}_k = v_k / \sqrt{gr_0}$  хар хил қийматларида

ўлчамсиз вақт  $\tau = t\sqrt{g/r_0}$  бўйича ўзгариш графиклари

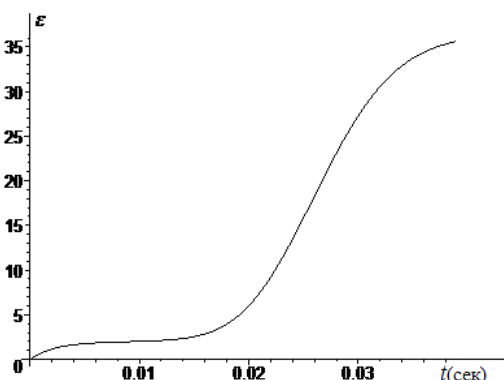
$$\omega = 0$$



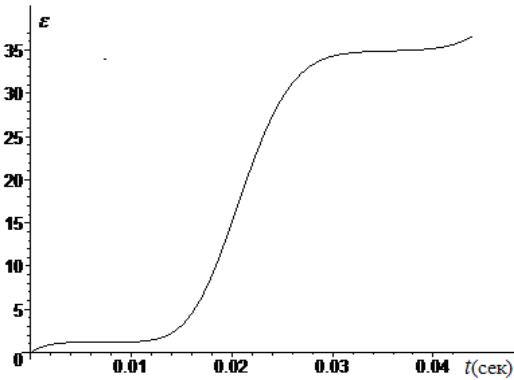
$$\omega = 50c^{-1}$$



$$\omega = 70c^{-1}$$



$$\omega = 90c^{-1}$$



3- расм. Заррачалар ажратиш назарий самарадорлиги коэффициентининг (%) параметр  $\omega$  нинг вақт  $t$  (с) бўйича ўзгариш графиклари

Пахта бўлакчасининг тўрли юзанинг  $BC$  чизиғи бўйлаб ҳаракат тезлиги маълум бўлгандан сўнг, А.Г. Севастьянов модели асосида заррачаларнинг бўлакча таркибидан ажралиш жараёнини назарий кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик, бўлакчанинг  $BC$  чизиғи бўйлаб ҳаракати давомида

массаси камайиб  $M$  га тенг ва  $\Delta t$  давомида унинг массаси заррачалар ажралгани сабабли  $dM$  га камайсин, яъни  $M-dM$  га тенг бўлсин. А.Г. Севастьянов моделига кўра унинг нисбий камайиши куйидаги тенгликни бажариши лозим

$$dM / M = -\lambda \bar{s} \bar{N} dt . \quad (7)$$

Бу ерда  $\lambda$  – пропорционаллик коэффициенти.  $\bar{N} = N / M_0 g$ ,  $N - (1)$  формуладаги нормал куч. А.Г.Севастьянов моделида бу куч ҳисобга олинмаган. Агар  $N \leq 0$  бўлса, у ҳолда заррача ажралиш жараёни бўлмайти, чунки бу ҳолда бўлакча билан тўрли юза орасида контакт бузилади. Агар юқоридаги А.Г.Севастьянов модели қўлланиладиган бўлса, у ҳолда  $N > 0$  шарти текширилиши лозим бўлади. (7) тенглама  $M(0)=M_0$  (бу ерда  $M_0$  – бўлакчанинг заррачалар массаси билан биргалликдаги массаси) шарти билан интегралланади.

Хусусан  $r=r_0=\text{const}$ , деб олинса, у ҳолда интегралга  $dt = \sqrt{r_0 / g} d\tau$ ,  $\dot{s} = (\bar{v}_0 + \varphi'_*) \sqrt{r_0 g}$ ,  $\bar{N} = (\bar{v}_0 + \varphi'_*)^2 + \sin(\varphi_* + \varphi_0 + \bar{v}_0 \tau)$  ифодаларни қўйидаги формулани оламиз:

$$M / M_0 = r_0 \exp \left( - \int_0^\tau \lambda (\bar{v}_0 + \varphi'_*) [(\bar{v}_0 + \varphi'_*)^2 + \sin(\varphi_* + \varphi_0 + \bar{v}_0 \tau)] d\tau \right), \quad (8)$$

(8) формулада  $N > 0$  шартини текшириш лозим бўлади.

Бўлакчадан ажралиб кетган заррача миқдори  $M_0 - M$  га тенг бўлиб, ушбу нисбат

$$\varepsilon = \frac{M_0 - M}{M_0} = 1 - r_0 \int_0^\tau \lambda (\bar{v}_0 + \varphi'_*) [(\bar{v}_0 + \varphi'_*)^2 + \sin(\bar{v}_0 \tau + \varphi_0 + \varphi_*)] d\tau \quad (9)$$

заррачаларни ажратишда қўлланилаётган технологик машинанинг тозалаш самарадорлигини аниқлайди.

3–расмда самарадорликни (фоизда) ҳисоблаш натижалари  $\lambda_0=0.015$  бўлганда, ўлчамсиз параметр  $\omega = \sqrt{kr_0 / M_0 g}$  нинг ҳар хил қийматларида  $\tau$  бўйича ўзгариш графиклари келтирилган.

А.Г.Севастьянов модели асосида аниқланган заррачалар нисбий миқдори (самарадорлик коэффициенти)  $\varepsilon=(M_0 - M)/M_0$  нинг вақт бўйича параметр  $\omega$  нинг кичик қийматларида монотон текис ортади ва бу коэффициентнинг қиймати ошиши билан монотон ўсиш характери ўзгаради. Параметр  $\omega$  нинг катта қийматларида бошланғич моментларда  $\varepsilon$  нинг ўсиши секинрок бўлиб (бу интервал нормал кучнинг камайиш интервалига мос келади), сўнгра эса вақт ошган сари қисқа вақтда унинг шиддат билан ўсиши ва ундан кейин ўзгармай қолиши кузатилади. Тозалаш самарадорлигининг вақт бўйича ўзгариш графигининг бундай характери тезлик ва нормал кучларнинг гармоник қонуният билан ўзгаришидан келиб чиқади.

#### АДАБИЁТЛАР

- [1] Севастьянов А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. М.: Легкая промышленность, 1980.
- [2] Мирошниченко Г. И. Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. М.: Машиностроение, 1972.
- [3] Омонов Ф. Б. таҳрири остида. Пахтани қайта ишлаш справочниги. Тошкент, 2008.

Наманган муҳандислик технология институти

23.05. 2016й  
кабул қилинган

**Э.Э. Гаибназаров, А.А. Обидов, М. Камолитдинов. Теоретическое исследование процесса очистки хлопка-сырца от крупных и мелких сорных примесей под механическим воздействием**

*Предложен теоретический способ определения количества удаляемых с поверхности сетки сорных примесей в процессе очистки хлопка-сырца при механических воздействиях.*

**E.E. Gaibnazarov, A.A. Obidov, M. Kamoliddinov. Theoretical observation of the purification process of cotton from the large and small trash under mechanical action**

*A theoretical method for determining the amount removed from the surface mesh trash in the process of cleaning raw cotton mechanical influences.*

М.И. ИСАКОВ, А.Т. ЙУЛДАШЕВ, Н.С. ДУНЯЦИН

**АНАЛИЗ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРОЧНЯЮЩИХ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Прокатные валки – основной технологический инструмент в прокатном переделе металлургических заводов. От их надежности, износостойкости рабочей поверхности, межремонтного срока службы зависят, в основном, технико-экономические показатели работы прокатных цехов и в первую очередь производительность прокатных станов, качество готового проката и затраты на его производство. Рабочая поверхность валка подвергается циклическому, механическому и тепловому воздействиям. По мере эксплуатации валков на их рабочей поверхности наблюдается налипание металла, неравномерный износ и образование трещин разгара [1–3].

В качестве одного из наиболее эффективных технических решений, направленных на снижение эксплуатационных расходов на основной рабочий инструмент прокатных станов, являются своевременное восстановление и упрочнение изнашивающейся рабочей поверхности путем механизированной электродуговой наплавки слоя металла. В связи с этим большое значение придается увеличению объема наплавки, оснащению прокатных цехов наплавочными участками, разработке и совершенствованию эффективных технологических процессов наплавки и наплавочных материалов, обеспечивающих повышение характеристик и долговечности валков прокатных станов [4–5].

Авторами [5] проведены разработка и внедрение экономно-легированных наплавочных материалов, обеспечивающих повышение долговечности валков прокатных станов и других деталей прокатного оборудования.

С целью выяснения возможностей применения легированной ленты для износостойкой наплавки прокатных валков и роликов рольганга мы провели испытания металла, наплавленного лентой из стали марки 20Х4МФБ под флюсом АН-60. Образцы металла подвергли испытаниям на термостойкость, износостойкость при повышенных температурах, сопротивляемость образованию кристаллических трещин при наплавке. Определили также его твердость при нормальных и повышенных температурах, механические свойства, в том числе после отпуска; выполнили металлографические исследования. Для изготовления образцов производили пятислойные наплавки на пластины толщиной 40 мм из стали 50, которые перед наплавкой подогревали до температуры 300–350°C. Результаты проведенных испытаний металла, наплавленного ленточным электродом разработанного состава, показали, что он обладает достаточно высокими эксплуатационными характеристиками, а также подтвердили техническую возможность и перспективность использования ленты для упрочнения прокатных валков и ролика рольганга. Однако изготовление наплавочной ленты заданного состава из стали марки 20Х4МФБ является затруднительным и имеет ограниченные возможности, так как данная лента является импортируемой продукцией.

Авторами [6] проведен анализ литературных данных по работоспособности наплавленных прокатных валков, который показал, что возможности систем легирования  $C-Si-Mn-Cr-Mo-V$  и  $C-Si-Mn-Cr-M-V$  в полной мере не реализованы.

На базе стандартных порошковых проволок марок ПП-Нп-35В9Х3СФ и ПП-Нп-25Х5ФМС были отработаны системы легирования новых порошковых проволок с учетом условий эксплуатации прокатных валков. В результате в новой разработанной порошковой проволоке структура наплавленного металла представляет собой смесь тростита и мартенсита с выделением по границам зерен тонких аустенитных оторочек. На границах зерен формируются в незначительном количестве включения карбидной эвтектики.

Такие структурные изменения привели к тому, что после упрочняющей наплавки ресурс валков вырос более, чем в два раза. В связи с этим одним из направлений повышения ресурса прокатных валков является применение порошковых проволок с добавлением в шихту упрочняющих легирующих элементов. Изготовление порошковой проволоки более доступно по сравнению с легированной стальной лентой и можно осуществлять в нашей республике.

Порошковая проволока представляет собой металлическую оболочку, плотно наполненную порошкообразными легирующими элементами – шихтой. Оболочка изготавливается из стали марок 08 или 10 в виде ленты холодного проката. Лента с обрезными кромками имеет толщину

0.5; 0.6; 0.65; 0.8 или 1.0 мм и ширину 14 или 15 мм. Она выпускается в мотках весом от 50 до 100 кг. Лента не должна иметь вмятин, перегибов, надрезов, заусенцев, а также ржавчины, масел и жира на поверхности. Целесообразно применять автомат ОГРЭС с самоходным устройством тракторного типа, схема которого показана на рисунке [8]. Принцип его работы заключается в одновременном изготовлении порошковой проволоки в процессе производства наплавочных работ. Он также дает высокую производительность и эффективность.

Вес шихты составляет 40–50% по отношению к общему весу порошковой проволоки. Автомат имеет следующую характеристику: скорость подачи проволоки доходит до 200 м/ч; скорость наплавки одинарных прямолинейных валиков находится в пределах 15–60 м/ч; производительность по количеству наплавленного металла – до 20 кг/ч; количество электродной ленты в кассете – около 10 кг; емкость бункера для шихты – 2.5 л. Для питания дуги используется постоянный или переменный ток.

Для получения заданного легированного наплавленного металла производится расчет весового состава шихты для порошковой проволоки. При этом учитываются химический состав шихты, заданный химический состав наплавляемого металла и коэффициент перехода легирующих элементов шихты в наплавленный металл. Автоматическая наплавка порошковой проволокой производится под плавным флюсом. Наплавка открытой дугой приводит к значительному разбрызгиванию жидкого металла и угару легирующих элементов.

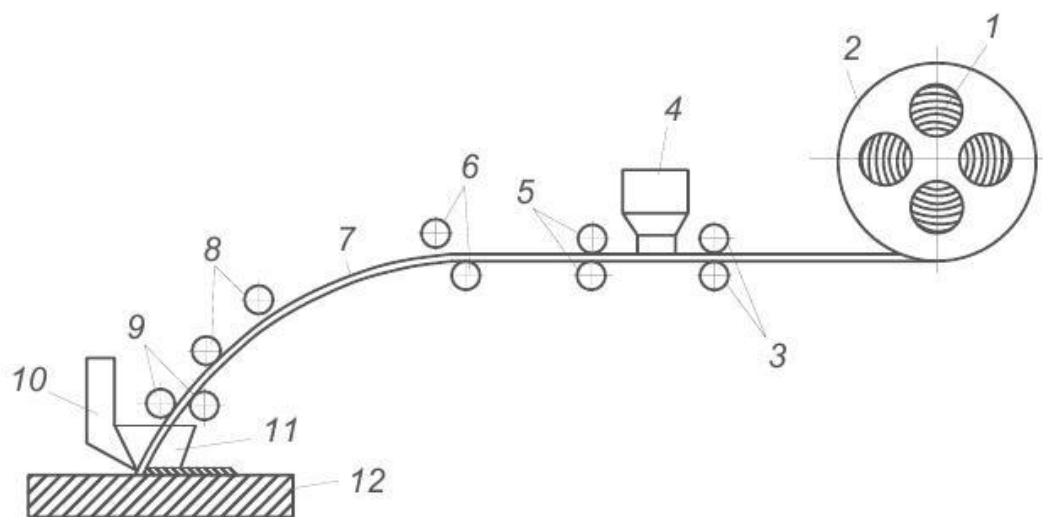


Схема автомата ОГРЭС: 1 – лента для порошковой проволоки; 2 – кассета; 3 – формирующие ролики; 4 – бункер для шихты; 5 – обжимающие валки; 7 – порошковая проволока; 6 и 8 – направляющие ролики; 9 – токоподводящие ролики; 10 – патрубок для подачи плавленного флюса; 11 – воронка для флюса; 12 – наплавляемая деталь

Токопроводящей частью проволоки является металлическая оболочка и дуга горит между концом этой оболочки и изделием. Шихта проволоки плавится быстрее оболочки, в результате чего на конце проволоки образуется чехольчик из оболочки. Это способствует лучшему переходу легирующих элементов шихты в наплавленный металл.

Дуга может также гореть между каплей, образовавшейся на торце порошковой проволоки, и изделием. Капля состоит частично из расплавленной оболочки, частично – из металлической шихты. Электрическая дуга горит устойчиво при плотности тока 75–100 а/мм<sup>2</sup> с постоянной скоростью подачи порошковой проволоки.

Анализ восстановления прокатных валков с применением упрочняющих легирующих элементов показывает, что имеются возможности развития технологии автоматической наплавки с применением порошковой проволоки с добавлением в шихту упрочняющих легирующих элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кальянов В. Н., Новицкая А. В. Повышение долговечности прокатных валков наплавкой экономнолегированной сталью // Сварочное производство. 1997. № 10. С.23–27.

- [2] Кондратьев И.А., Васильев В.Г., Дзыкович И.Я. Исследование структурной неоднородности наплавленного металла типа 35В9Х3СФ и ее влияние на работоспособность наплавленных прокатных валков // Автоматическая сварка. 1996. № 6. С.17–20.
- [3] Рябцев И.А., Кондратьев И.А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. Киев: Экотехнология, 1999. С.64.
- [4] Лещинский Л.К., Матвиенко В.Н., Щетинина В.И., Степанов К.К. и др. Новые наплавочные участки для восстановления крупных и уникальных прокатных валков // Автоматическая сварка. 1996. № 8. С.58–59.
- [5] Матвиенко В.Н., Степанов К.К., Гулаков С.В. и др. Повышение долговечности стальных валков прокатных станов ОАО «МКК им. Ильича» // Металлургические процессы и оборудование. 2005. № 2. С.39–42.
- [6] Орлов Л.Н., Голякеквич А.А. Восстановительная наплавка деталей металлургического оборудования порошковыми проволоками в ООО «ТМ. ВЕЛТЕК». Стендовый доклад на конференции «Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее». 25–26 ноября 2013 г. Киев, 2013.
- [7] Абралов М.А. и др. Конспект лекций по «Технологии и оборудованию сварки плавлением». Ташкент, 2014. – 470 с.

Научно-исследовательский центр по проблемам отраслевого машиноведения  
при Ташкентском государственном техническом университете

Дата поступления  
22.02.2016

*М.И. Исаков, А.Т. Ёлдашев, Н.С. Дунышин. Прокат станлари жўваларини таъмирлашда мустаҳкамликни оширувчи легирувчи элементларни қўллашнинг таҳлили*

*Мақолада прокат станлари жўваларини қайта тиклашда эритиб қопланадиган металл таркибига мустаҳкамликни оширувчи легирувчи элементларни қўшиш технологиялари таҳлил қилинган ва самарали технологияни қўллашга тавсия берилган.*

*M.I. Isakov, A.T. Yuldashev, N.S. Dunyashin. The analysis of restoration of rolling rolls with application of the strengthening alloying elements*

*In article the analysis of technologies of restoration of rolling rolls with application of the strengthening alloying elements at a naplavka is carried out and recommendations about perspective technologies are made.*

УДК 677.21.021

**Б.М.МАРДОНОВ, А.Е.ЛУГАЧЕВ, Р.А.ГУЛЯЕВ**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УВЛАЖНЕНИЯ ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ КАМЕРЕ ВСТРЕЧНЫМ ПОТОКОМ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА**

Перемещение влаги в движущейся смеси, состоящей из влажного воздуха и волокнистой массы, – достаточно сложный процесс, который зависит от структуры смеси, характера связи влаги с ее порами и влагообменных явлений между воздухом и волокнистой массой. В увлажнителе волокна после разрыхлительных барабанов разрыхленная волокнистая масса поступает в камеру увлажнения, где обдувается встречным потоком теплого влажного воздуха. Разрыхленная волокнистая масса представляет собой смесь, состоящую из элементов волокон и частиц воздуха.

Рассмотрим одномерный процесс увлажнения весомой волокнистой массы, движущейся вертикально вниз в шахте прямоугольного переменного сечения. На массу действует поток влажного воздуха, противоположно направленному движению частиц волокнистой среды. Установим начало координат в начальном сечении шахты. Направим ось  $Ox$  вертикально вниз по оси шахты, которая состоит из двух участков  $OA$  ( $0 < x < h$ ) и  $AB$  ( $h < x < H$ ). На участке  $OA$  площадь сечения меняется по закону  $S = s(x)l$ ,  $s = (s_0 - k_0x)$  ( $l$  – длина боковой стороны прямоугольника,  $s_0$  – ширина сечения шахты при  $x = 0$ ,  $k_0 = (s_0 - s_1)/h$ ,  $s_1$  – ширина нижнего сечения шахты). Полагаем, что встречный поток воздуха действует на движущуюся волокнистую массу на участке  $OA$ . Считая процесс увлажнения стационарным, обозначаем через  $u_0(x)$ ,  $w_0(x)$ ,  $u_1(x)$ , и  $w_1(x)$  соответственно скорость и влажность воздуха (индексом-0) и волокнистой массы (индексом-1) в произвольном сечении участка  $OA$ . Принимаем, что процесс влагообмена на участке  $0 < x < h$  соответствует линейному закону массообмена между частицами воздуха и волокон. На участке  $h < x < H$  масса подвергается сжатию, и пропитка массы влагой происходит за счет фильтрации [1].

Смесь воздуха с частицами волокнистой массы принимаем гетерогенной смесью, для описания движения которой используем теорию многоскоростных систем, предложенную в работе [2]. Гетерогенные смеси, как правило, описываются многоскоростной моделью с учетом динамических эффектов, возникающих из-за несовпадения скоростей отдельных фаз. При этом воздух считаем идеальной жидкостью, и внутренняя сила взаимодействия определяется через нормальное давление  $p(x)$ , которое является общим для всей смеси. Уравнения одномерного движения компонентов смеси и законы сохранения масс, согласно работе [2], записываем в виде

$$\rho_0 u_0 s \frac{du_0}{dx} = -\frac{\rho_0}{\rho_0^{(0)}} \frac{d(sp)}{dx} + sk(u_1 - u_0), \quad (1)$$

$$\rho_1 u_1 s \frac{du_1}{dx} = -\frac{\rho_1}{\rho_1^{(0)}} \frac{d(sp)}{dx} - sk(u_1 - u_0), \quad (2)$$

$$\rho_0 u_0 s = u_{00} \rho_{00} s_0 = const, \quad \rho_1 u_1 s = u_{10} \rho_{10} s_0 = const, \quad \rho_0 = m \rho_0^{(0)}, \quad \rho_1 = (1-m) \rho_1^{(0)},$$

$$\rho_0 = \frac{m}{m_0} \rho_{00}, \quad \rho_1 = \frac{1-m}{1-m_0} \rho_{10}, \quad (3)$$

где  $\rho_0, \rho_1, m$  – соответственно приведенные плотности воздуха; волокнистой массы и пористости в произвольном сечении трубы;  $\rho_0^{(0)}$  и  $\rho_1^{(0)}$  – их истинные плотности;  $k$  – коэффициент сопротивления;  $\rho_{00}, \rho_{10}, u_{00}, u_{10}$  и  $m_0$  – известные значения плотности, скорости воздуха, волокнистой массы и пористости в сечении  $x=0$ .

Из равенств (1) – (3) следует, что плотности и скорости компонентов в произвольном сечении шахты выражаются через пористость  $m(x)$ , которая удовлетворяет уравнению

$$\frac{dm}{dx} = -\frac{m(1-m)\{s_0 m(1-m)[m u_{10}^2 \rho_{10} - (1-m) u_{00}^2 \rho_{00}]k_0 + s^2 k[m(1-m_0)u_{10} - (1-m)m_0 u_{00}]\}}{s^2 [u_{00}^2 \rho_{00} m_0 (1-m)^3 + u_{10}^2 \rho_{10} (1-m_0) m^3]}. \quad (4)$$

При этом давление определяется по формуле

$$p = \frac{s_0}{s} \left[ p_0 + u_{00}^2 \rho_{00} \left( 1 - \frac{m_0}{m} \frac{s_0}{s} \right) + u_{10}^2 \rho_{10} \left( 1 - \frac{1-m_0}{1-m} \frac{s_0}{s} \right) \right], \quad (5)$$

где  $p_0$  – давление смеси в сечении  $x=0$ .

Расчеты производились для шахты постоянного сечения. При этом значение скорости обратного потока было выбрано при соблюдении условия монотонного роста давления в зоне увлажнения, т.е. требовалось условие сохранения положительного знака производной  $\frac{dp}{dx}$  при

$$0 < x < h.$$

На рис. 1 представлены кривые изменения пористости  $m$ , давления  $p$  (Па) и скоростей воздуха и частиц волокнистой массы  $u_0$  и  $u_1$  (м/с) по высоте шахты для двух значений коэффициента взаимодействия  $k$ .

Максимальное значение скорости подачи воздуха  $u_{00}^{(max)}$  в нижней части шахты определяется из условия  $\frac{dp}{dx} = 0$  при  $x = 0$ .

В расчетах принято:  $m_0=0.6$ ,  $u_{10}=2$  м/с,  $h=2$  м,  $\rho_{00}=1.1$  кг/м<sup>3</sup>,  $p_0=0$ .

Из анализа кривых следует, что на распределение параметров потока существенное влияние оказывает коэффициент  $k$  и при больших его значениях может произойти забой шахты.

На участке  $0 < x < h$  уравнения влагообмена между воздухом и волокнистой массой в стационарном режиме увлажнения запишем в виде системы

$$s m u_0(x) \frac{dw_0}{dx} = \beta(w_1 - w_0), \quad s(1-m)u_1(x) \frac{dw_1}{dx} = \beta(w_0 - w_1) \quad \text{при } 0 < x < h.$$

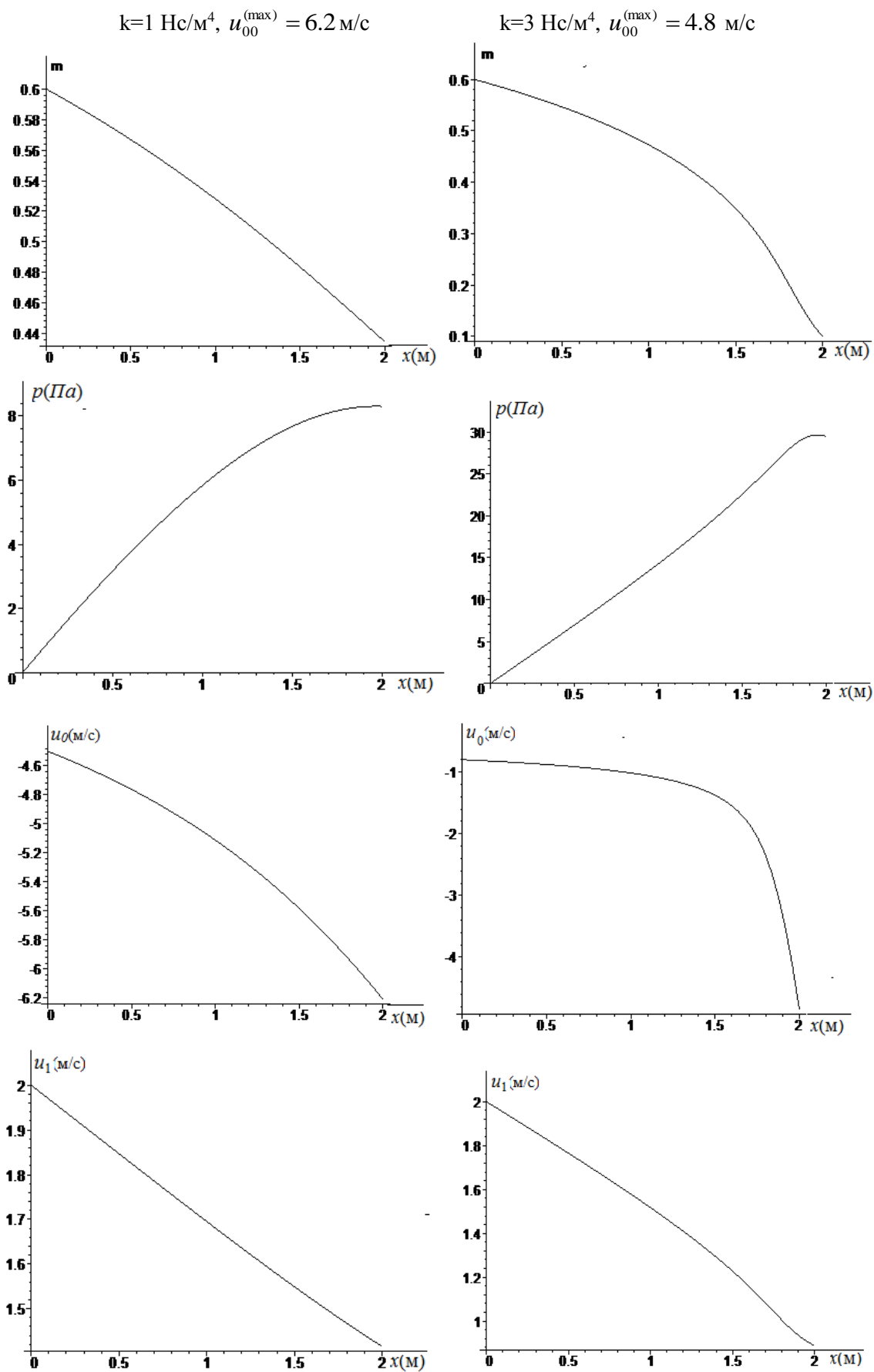


Рис. 1. Распределение пористости  $m$ , давления  $p$  (Па), скоростей частиц воздуха  $u_0$  (м/с) и волокнистой массы  $u_1$  (м/с) по высоте шахты для двух значений коэффициента  $k$  (Hc/m<sup>4</sup>)

С учетом (5) последние уравнения записываются в виде

$$m_0 u_{00} \frac{dw_0}{dx} = \beta(w_1 - w_0)/s_0, \quad (1 - m_0)u_{10} \frac{dw_1}{dx} = \beta(w_0 - w_1)/s_0. \quad (6)$$

Интегрируя систему уравнений (6) при условиях  $w_0(h) = w_{01}, w_1(0) = w_{10}$ , получим

$$w_1 = \frac{1}{c+1} \{w_{00} + cw_{10} - (w_{00} - w_{10}) \exp[-\lambda x(c+1)]\} \quad w_0 = w_{00} + \gamma(w_{10} - w_1),$$

где  $c = \frac{1 - m_0}{m_0} \frac{u_{10}}{u_{00}}, \lambda = \frac{\beta h}{(1 - m_0)s_0 u_{10}}, w_{00} = \frac{w_{01}(c+1) - cw_{10}(1-b)}{c+1 - c(1-b)}, b = \exp[-\lambda x(c+1)].$

На рис.2 представлены кривые распределения влажности воздуха и волокна по высоте шахты в зоне увлажнения  $0 < x < h$  при различных значениях скорости встречного воздушного потока. В расчетах принято:  $\beta=0.5 \text{ c}^{-1}, m_0=0.3, u_{10}=5 \text{ м/с}, w_{10}=5\%, h=2 \text{ м}$ .

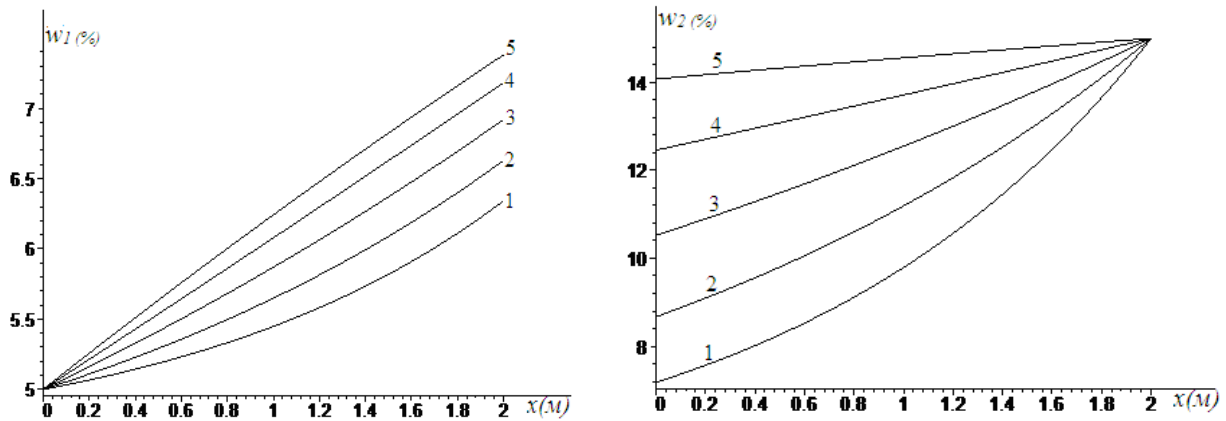


Рис.2. Кривые распределения влаги в волокнистой массе  $w_1$  и встречном потоке воздуха  $w_2$  по высоте шахты при влажности  $w_{00}=15\%$  и скорости  $u_{00}$  встречного потока: 1  $-u_{00}=2 \text{ м/с}$ , 2  $-u_{00}=3 \text{ м/с}$ , 3  $-u_{00}=5 \text{ м/с}$ , 4  $-u_{00}=10 \text{ м/с}$ , 5  $-u_{00}=30 \text{ м/с}$

В нижней части увлажнительной камеры установлены обжимные валики (рис.3), которые формируют увлажненную волокнистую массу в холст волокна перед прессованием. В процессе непрерывного поступления клочков в нижней части установки образуется увлажненная волокнистая масса, плотность и толщина которой зависят от условия подачи (прокатывания) её с помощью обжимных валиков, вращающихся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . При этом в процессе уплотнения продукта, влага перемещается по свободным капиллярным каналам, в результате чего волокнистая масса дополнительно увлажняется. В связи с этим рассматривается модельная задача движения увлажненной волокнистой массы в пространстве между двумя валиками. При этом принимается, что коэффициент влагопроводности линейно зависит от влажности. Рассмотрим зону обжатия  $OA$ , где установим начала координат в точке  $O$ , ось  $Ox$  направим вниз.

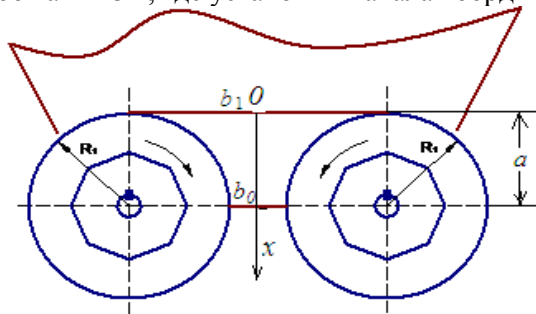


Рис.3. Схема взаимодействия холста с обжимными валиками

Для моделирования процесса увлажнения продукта в зоне обжатия используем фильтрационную модель проникания жидкости по капиллярам волокнистой массы. Обозначим через  $c(x,t)$  удельное влагосодержание (влажность) в зоне сжатия

Уравнение стационарной фильтрации жидкости с переменной коэффициентом влагопроводности в зоне сжатия имеет вид

$$v \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\rho(x)}{\rho_0} \left[ k(c) \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + k'(c) \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{k(c)}{b} \frac{db}{dx} \frac{\partial c}{\partial x} \right]. \quad (7)$$

Принимаем линейную зависимость коэффициента влагопроводности от влажности ( $k_0$  и  $k_1$  – постоянные)

$$k(c) = k_0 + k_1 c.$$



При  $x/R < 1$  зависимость расстояния между валиками, согласно работе [3], принимается по формуле

$$b = b_0 + \frac{(a-x)^2}{R},$$

где  $b_0$  – минимальное расстояние между валиками;  $x$  – высота обжатия;  $R$  – радиус валиков.

Для интегрирования уравнения (7) требуется выполнение следующих граничных условий:

$$\begin{aligned} c &= c_1 && \text{при } x = 0, \\ \frac{dc}{dx} &= -\eta(c - w_0) && \text{при } x = a. \end{aligned} \quad (8)$$

$$b_0=0.09 \text{ м}, k_1=0$$

$$b_0=0.09 \text{ м}, k_1=0.01 \text{ м}^2/\text{с}$$

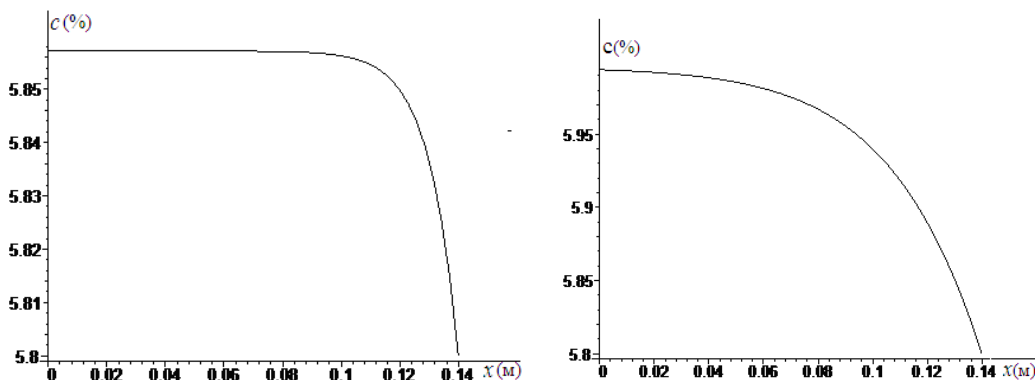


Рис.4. Кривые распределения влаги  $c$  (в процентах) по высоте зоны контакта для  $v=2$  м/с и двух значений параметра нелинейности  $k_1$

Уравнение (7) является нелинейным, и поэтому для интегрирования используем численный метод. При этом считаем, что известно значение  $c=c_2$  влажности в сечении  $x=a$ . Тогда выберем значение скорости такое, чтобы влажность в сечении  $x=0$  стала равной заданному значению  $c=c_1$  (рис.4). Вводя производную  $y = \frac{dc}{dx}$ , согласно (8), получим систему нелинейных уравнений первого порядка

$$\frac{dc}{dx} = y, \quad \frac{dy}{dx} = \frac{y[b(x)v - k'(c)b(x)y - k(c)b'(x)]}{k(c)b(x)},$$

которая интегрируется численно методом Рунге – Кутты при следующих начальных условиях:

$$c = c_2, \quad y = -\eta(c_2 - c_0) \quad \text{при } x = a.$$

Расчеты производились для следующих значений параметров задачи  $k_0=0.02 \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $a=R=0.14\text{м}$ ,  $c_1=6\%$ ,  $c_2=5.8\%$ ,  $c_0=0$ ,  $\eta=1\text{м}^{-1}$

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лыков А. В. Теория сушки. Л.: Госэнергоиздат, 1950. – 416 с.
- [2] Рахматулин Х. А. Газовая и волновая динамика. М.: МГУ, 1983. – 200 с.
- [3] Ишлинский А. Ю. Прикладные задачи механики. М.: Наука, 1986. – 358 с.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Дата поступления  
2.05.2016

**Б.М. Мардонов, А.Е. Лугачев, Р.А. Гуляев. Толали массани нам ҳаво таъсирида вертикал шахтада намлаш жарайини тадқиқ қилиши**

*Икки компонентли (ҳаво-тола) муҳитнинг модели асосида пахта толасини вертикал шахтада қарши йўналган нам ҳаво таъсирида намлаш масаласи кўрилган.*

**B.M. Mardonov, A.E. Lugachev, R.A. Gulyaev. Study humidification process in the pulp chamber vertical counter flow of moist air**

*Based on the model of the two-component model (fiber-to-air), consider the problem of wetting the cotton fiber in the vertical shaft counter flow of moist air.*

Р.М. МУРОДОВ, Р. СУЛАЙМОНОВ, Е. ТАДАЕВА

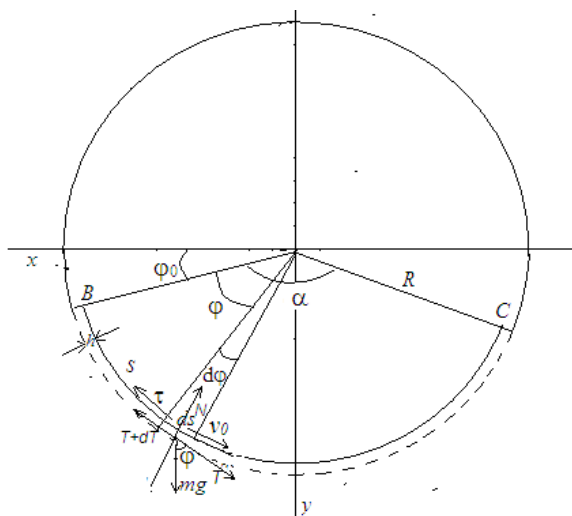
### ТОЗАЛАШ ЗОНАСИДА ҲАРАКАТЛАНАЁТГАН ТОЛАЛИ МАССАДАН АЖРАЛГАН ИФЛОСЛИКЛАР МИҚДОРINI АНИҚЛАШ

Толали массани ифлосликлардан тозалаш жараени одатда ишчи органларнинг (қозикчаларининг) унга берилган зарбалари натижасида асосида амалга ошади [1–3]. Бу жараёнда муҳит зичлиги ундаги бўлакчаларнинг ҳажми ошиши натижасида ўзгариб туради, бу ўз навбатида ундаги ифлосликларнинг ажралоши самарадорлигига таъсир қилади. Фараз қилайлик толали масса тозалаш машинасининг ишчи камерасига  $Q$  сарф билан узлуксиз равишда узатилсин. Жараёни стационар деб қабул қиламиз, шунинг учун  $Q=Q_0=\text{const}$  шarti бажарилиши лозим. Толали массанинг қалинлиги  $h$ (м) га ва бир бирлик узунликдаги массаси (погон)  $m$  (кг/м) тенг бўлган радиуси  $R$ (м), узунлиги  $L$ (м) доиравий цилиндр ичида ўрнатилган  $BC=\alpha R$   $\alpha$ (рад) – ёй бурчаги) турли ёй бўйлаб бир хил ўзгармас  $v_0=Q_0/F$  ( $F=hL$  – қатламнинг кесим юзаси) тезлик билан ҳаракатланаётган (1-расм) ғовак муҳит деб қабул қиламиз. Тўрли юзанинг очик юзаси  $S$  нинг унинг тўла ёпиқ бўлган ҳолдаги юзаси  $S_0$  нисбати  $S/S_0=n$  га тенг. Муҳит деформацияси  $\varepsilon$  билан билан таранглик  $T(H)$  орасида боғланиш маълум:

$$\varepsilon = \frac{T}{EF} \quad (1)$$

Бу ерда  $E$  муҳит учун Юнг модули. Муҳит билан ёпиқ ҳолдаги ёй сирти орасидаги ишқаланиш коэффициентини  $f_0$  га тенг. Сиртнинг фойдаланиш коэффициентини  $S/S_0=n$  эътиборга олиб, тўрли сирт билан хом ашё орасидаги ишқаланиш коэффициентини қўйидаги формула ёрдамида ҳисоблаймиз

$$f = f_0(1-n).$$



1-расм. Муҳитнинг  $BC$  ёй бўйича ҳаракати схемаси

$h \ll R$  шартини қабул қилиб, муҳитдаги контакт ёйи бўйича ҳосил бўлган таранглик  $T(H)$  ва нормал  $N(H)$  кучларнинг тақсимланиш қонуниятларини математик моделлаштириш асосида аниқлаймиз, ҳамда тўрли юзадан ажралиб кетадиган ифлосликларнинг нисбий миқдорини (фоизда) бошланғич зичлик  $\rho_0$  ва фойдаланиш коэффициенти  $n$  ларнинг ҳар хил қийматларида ҳисоблаймиз.

$h \ll R$  шартидан фойдаланиб муҳитни юпқа ва эни бўйича бир хил деформацияланадиган қатлам деб, ундан узунлиги бир бирликка тенг бўлган тасма ажратамиз. Пахта хомашёсини толала муҳит деб қараймиз ва унинг чўзилишига қаршилик қиладиган кучни  $T$  билан белгилаймиз. Бу кучни иплар назариясида таранглик кучи деб қабул қилинади ва ип фақат чўзилишга қаршилик кўрсатганлиги сабабли

одатда  $T > 0$  шarti қабул қилинади. Пахта массаси эса, қисман чўзилишга қаршилик кўрсатиши мумкин. Агар  $T > 0$  бўлса, пахта массасининг ҳажми кенгайиб, унинг ғоваклиги ошади, натижада хом ашё таркибидан ифлосликлик заррачаларининг ажралоши кетиши интенсивлашади. Агар  $T < 0$  бўлса ички куч таъсирида пахта массасининг ҳажми камаяди, натижада заррачаларнинг массадан ажралоши кетиши имконияти камаяди. Шуларни эътиборга олиб, контакт ёйи бўйича тасмадаги (лентадаги) ички куч  $T(H)$  ва сирт томонидан унга таъсир этаётган бир бирлик узунликдаги уринма  $\tau$  (Н/м) ва нормал куч  $q$  (Н/м) ларнинг тақсимланиш қонунларини аниқлаймиз. Одатда улар мос равишда нормал ва уринма кучлар интенсивлиги деб айтилади. Агар нормал куч  $q$  манфий бўлса, у ҳолда лента билан цилиндр сирти орасидаги контакт бузилади, лента икки ўлчовли ҳаракатда бўлади.

Координата бошини цилиндрининг марказида ўрнаштириб  $Ox$  ўқини ўнгдан чапга  $Oy$  ўқини юқоридан пастга йўналтирамиз (1–расм).  $Ox$  ўқи билан радиус орасидаги бурчакни  $\varphi$  билан белгилаймиз.  $\varphi = \varphi_0$  контакт ёйининг бошланиш бурчаги бўлиб, ундан сиртга узлуксиз равишда сарфи  $Q_0$  ўзгармас бўлган маҳсулот юборилади. Контакт ёйининг тугаш бурчаги  $\varphi = \varphi_1 = \varphi_0 + \alpha$  да маҳсулотга ташқи куч таъсир этмайди, шунинг учун ёйининг бу нуқтасида таранглик  $T=0$  шarti бажарилиш керак. Юқорида қабул қилинган модел асосида муҳитдан ажратилган қалинлиги  $h$ , узунлиги  $ds = R d\varphi$  элемент учун мувозанат тенгламаларини тузишда [1] ишдан фойдаланамиз. Элементга таъсир этаётган кучларининг уринма ва нормал йуналишлардаги йиғиндисини нолга тенглаштирамиз

$$T + dT - T - \tau R d\varphi + mgR \cos \varphi d\varphi = 0,$$

$$dN + qR d\varphi - mv_0^2 d\varphi - mgR \sin \varphi d\varphi = 0,$$

$$dN = T \sin \frac{d\varphi}{2} + (T + dT) \sin \frac{d\varphi}{2} = 2T \sin \frac{d\varphi}{2} = T d\varphi,$$

Бу тенгликларни қўйидаги тенгламалар кўринишига келтирамиз

$$\frac{dT}{d\varphi} - R\tau = -mgR \cos \varphi, \quad (2)$$

$$T + Rq = mv_0^2 + mgR \sin \varphi, \quad (3)$$

бу ерда  $m$ - қатламнинг погон массаси,  $\tau$ ,  $q$  кучлар. Танланган ҳаракатдаги қатлам модели учун улар орасида Кулон қонуни ўринли булади, яъни

$$\tau = fq. \quad (4)$$

(4) тенгликни эътиборга олиб, (2) ва (3) дан таранглик  $T(H)$  га нисбатан қўйидаги тенгламани оламиз

$$\frac{dT}{d\varphi} + fT = mgR(f \sin \varphi - \cos \varphi) + fmv_0^2 \quad (5)$$

(5) тенгламани  $T(\varphi_1)=0$  шartiда интеграллаб, таранглик  $T(\varphi)$  топамиз.

(5) тенгламанинг ечимини қўйидаги кўринишда оламиз

$$T = C_0 \exp[-f(\varphi - \varphi_0)] + mgR(A \sin \varphi + B \cos \varphi) + mv_0^2 \quad (6)$$

(5) ифодани (4)га қўйиб, қўйидаги тенгламани келтириб чиқарамиз

$$A \cos \varphi - B \sin \varphi - f(A \sin \varphi + B \cos \varphi) = -f \sin \varphi + \cos \varphi$$

$\sin \varphi$  ва  $\cos \varphi$  функциялар коэффициентларини тенгликнинг ўнг ва чап томонларини тенглаштирамиз

$$A + fB = 1, \quad fA - B = -f.$$

Бу системада аниқлаймиз

$$A = (1 - f^2)/(1 + f^2), \quad B = 2f/(1 + f^2).$$

Шундай қилиб (6) ифода қўйидаги кўринишга келтирилади

$$T = C_0 \exp[-f(\varphi - \varphi_1)] + mgRZ(\varphi) - mv_0^2$$

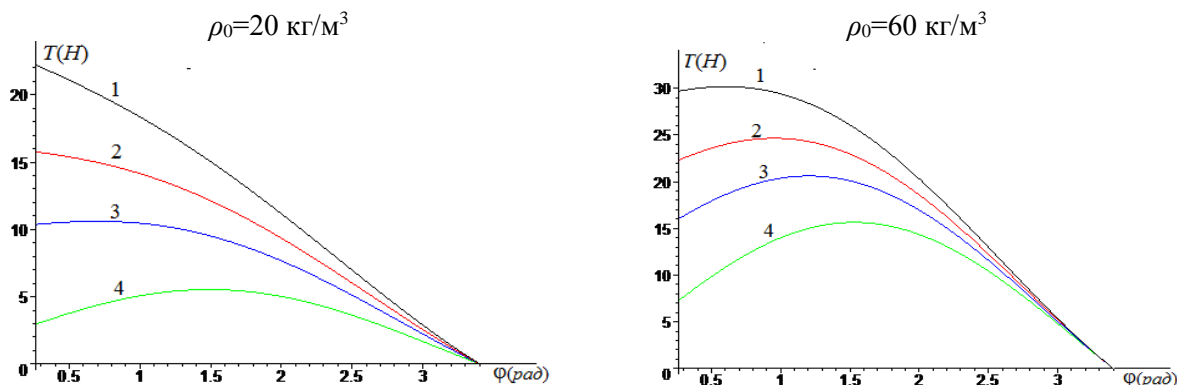
$$\text{Бу ерда } Z = \frac{1}{1 + f^2} [(1 - f^2) \sin \varphi + 2f \cos \varphi].$$

Ўзгармас коэффициент  $C_0$  ни  $T(\varphi_0 + \alpha) = 0$  шartiдан аниқлаймиз  $C_0 = -mgRZ(\varphi_0 + \alpha) + mv_0^2$ .

Нормал куч интенсивлиги (3) тенгламадан аниқланади

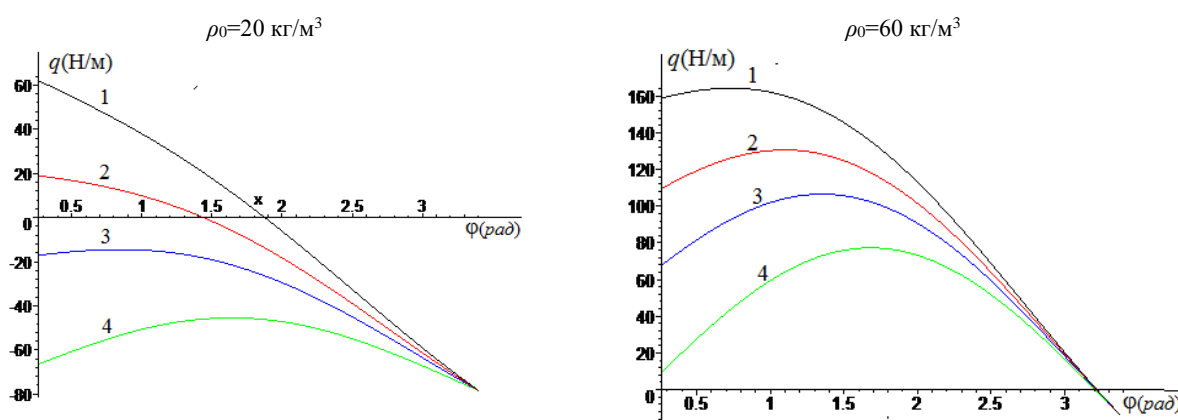
$$q = mv_0^2 / R + mg \cos \varphi - T / R$$

Ҳисоб натижалари ушбу  $Q_0 = 8000$  кг/соат,  $R = 0.15$  м,  $L = 1$  м,  $f_0 = 0.3$ ,  $h = 0.02$  м,  $\varphi_0 = 0.261$  ( $15^\circ$ ),  $\alpha = \pi$  қийматларда бажарилган бўлиб унинг асосида бошланғич зичлик  $\rho_0$  ва параметр  $n = S/S_0$  нинг ҳар хил қийматларида таранглик  $T$  (Н) ва нормал куч интенсивлиги  $q$  (Н/м) ларнинг тўрли сирт бўйлаб ўзгариш графиклари 2 ва 3 расмларда келтирилган.



2 –расм. Таранглик кучи  $T(H)$  контакт ёйи бўйича хом ашёнинг бошланғич зичлиги  $\rho_0$  ( $кг/м^3$ ) ва коэффициент  $n$  нинг ҳар хил қийматларидаги контакт ёйи бўйича ўзгариш графиклари: 1– $n=0.2$ , 2– $n=0.4$ , 3– $n=0.6$ , 4– $n=0.8$

Контакт ёйида сирт билан мухит ўртасида нормал куч интенсивлигининг ҳар хил параметрларида ёй бўйича ўзгариш графиклари 3 -расмда кўрсатилган.



3 –расм. Нормал куч интенсивлиги  $q(H/м)$  контакт ёйи бўйича хом ашёнинг бошланғич зичлиги  $\rho_0$  ( $кг/м^3$ ) ва коэффициент  $n$  нинг ҳар хил қийматларидаги контакт ёйи бўйича ўзгариш графиклари: 1– $n=0.2$ , 2– $n=0.4$ , 3– $n=0.6$ , 4– $n=0.8$

Таранглик кучи учун олинган натижалардан фойдаланиб, хом ашё таркибидан ифлосликларни ажратиш жараёнининг моделини кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик хом аше массасининг бошланғич зичлиги  $\rho_0$  маълум, тозалаш зонасида деформацияланиши натижасида унинг зичлиги ихтиёрий бурчакда  $\rho(\varphi)$  га тенг бўлсин. Агар деформацияланмаган мухитдан  $ds_0$  элемент олинган бўлса унинг массаси  $m_0 = \rho_0 F_0 ds_0$ , деформациядан кейин масса  $m = \rho F_0 ds$  га тенг бўлади. Массанинг сақланиш қонуни  $m = m_0$  дан  $ds = \rho_0 / \rho ds_0$  тенглик келиб чиқади. Агар уларга мос ҳажмлар  $V_0 = m_0 / \rho_0$ ,  $V = m / \rho$  дан фойдалансак  $ds = V / V_0 ds_0$  тенгликни оламиз.  $V_0 = l_0 h L$ ,  $V = l h L$  ( $l_0$ ,  $l$  – лентанинг деформациядан олдин ва ундан кейинги узунликлари) ифодаларни эътиборга олсак  $ds = l / l_0 ds_0$  тенгликни оламиз. Агар  $\varepsilon$  лентанинг деформацияси бўлса, у ҳолда  $l = (1 + \varepsilon) l_0$  тенглик ўринли булади. Шундай қилиб

$$ds = (1 + \varepsilon) ds_0 = (1 + kT) ds_0, \quad (k = 1 / EF) \quad (7)$$

ифодани оламиз.

Лента массаси  $m = \rho F_0$  нинг ифлосликлар ажралиши натижасида ўзгаришини А.Г.Севастьянов модели асосида қараймиз [3], у ҳолда ( $\lambda$  – тажриба асосида аниқланадиган параметр)

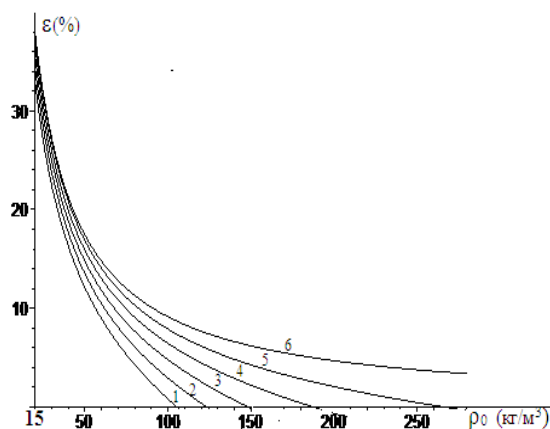
$$\frac{dm}{m} = \frac{d\rho}{\rho} - \lambda v_0 ds = -\lambda v_0 (1 + kT) R d\varphi.$$

Бу ифодани  $\rho(\varphi_0) = \rho_0$  шартда интеграллаб,  $m = \rho F_0$ ,  $m_0 = \rho_0 F_0$  тенгликлардан фойдаланиб, лентанинг массасининг ёй бўйича камайиш миқдорини аниқлаймиз

$$m = m_0 \exp \left\{ - \int_{\varphi_0}^{\varphi} \lambda v_0 R (1 + kT) d\varphi \right\}. \quad (8)$$

Ажралган ифлосликларнинг лентанинг бошланғич массасига нибатан ўзгариши (тозалаш самарадорлиги)

$$\varepsilon = \frac{m_0 - m}{m_0} = 1 - \exp \left\{ - \int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \lambda v_0 R(1 + kT) d\varphi \right\}. \quad (9)$$



4. Расм. Лентадан ажраладиган массанинг (тозалаш самарадорлиги % да) бошланғич зичликка нисбатан (тозалаш самарадорлигининг) ҳар хил  $n$  ларда ўзгариш графиклари. 1- $n=0.1$ , 2- $n=0.25$ , 3- $n=0.5$ , 4- $n=0.7$ , 5- $n=0.8$ , 6- $n=0.9$

4- расмда самарадорлик коэффициенти  $\varepsilon$  нинг ҳар хил  $n$  ларда бошланғич зичликка нисбатан ўзгариш графиклари келтирилган.

#### АДАБИЁТЛАР

- [1] Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико - технологических процессов текстильной промышленности. М.: Легкая промышленность, 1980.
- [2] Мирошниченко Г.И. Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. М.: Машиностроение, 1972.
- [3] Омонов Ф.Б. тахрири остида. Пахтани қайта ишлаш справочниги. Тошкент, 2008.

Наманган мухандислик - технология институти

23.05.2016 й.  
қабул қилинган

**Р.М.Муродов, Р.Сулаймонов, Е.Тадаева. Определение количества выделяемых сорных примесей в волокнистой массе, движущейся в зоне очистки**

*Предложен теоретический способ определения массы выделяемых сорных примесей в процессе очистки волокнистой массы, движущейся в зоне действия рабочих органов очистительной машины.*

**R.M. Murodov, R. Sulaymonov, E. Tadaeva. Quantification allocated trash in the pulp moving in the cleaning area**

*The theoretical method of determining the mass of the distinguished ruderal admixtures is in the process of cleaning of fibred mass locomotive in the zone of action of working oranges of cleaning machine.*

УДК 621.01

**Д.М. МУХАММАДИЕВ, Х.А. АХМЕДОВ**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ХЛОПКА НА ПОВЕРХНОСТИ БАРАБАНА С НАКЛОННЫМИ КОЛКАМИ**

В современных условиях развития техники и технологии переработки хлопка особую значимость приобретают вопросы ресурсосбережения, повышения качества продукции и снижения производственных затрат на полный цикл переработки сырья.

Общим отличительным признаком пильных джинов фирм США от отечественных технологий служит отсутствие семяотводящих труб в рабочих камерах и набрасывающих барабанов в шелушильных камерах, а также использование пильных дисков диаметром 406 мм. В связи с этим очень актуальна проблема разработки пильного джина с семяотводящей трубой и набрасывающим барабаном на пильных дисках с диаметром 320 мм.

В работе [1] исследованы движения хлопка-сырца по поверхности колка набрасывающего барабана и определены его диаметр (210 мм) и частота вращения ( $62,83 \text{ с}^{-1}$ ), производительность (1587 кг/ч) и угол падения хлопка на поверхность колка набрасывающего барабана ( $\varphi_0=60^\circ$ ), при которых обеспечивается улучшение разрыхления, очистки и равномерной подачи хлопка в пыльный цилиндр. Однако использование этих результатов приводит к увеличению габарита и массы рабочей камеры, а также к расходу электроэнергии.

В работах [2] А.Джураева и К.Х.Абдуллаева содержатся данные по разработке и обоснованию параметров колкового барабана питателя джина ПД с целью повышения эффективности рыхления и очистки волокнистого материала за счет монотонности воздействия, где указано взаимодействие колка (наклонной) и летучки хлопка-сырца.

Для снижения габарита, массы рабочей камеры и расхода электроэнергии можно использовать набрасывающий барабан с наклонными колками. Для этого необходимо изучить траекторию движения хлопка и кинематику (частоту вращения и диаметр) набрасывающего барабана и его месторасположение относительно пыльного цилиндра, движение массы хлопка на поверхности колка набрасывающего барабана и с отрывом от него до попадания на зубья дисков пыльного цилиндра.

Расчетные схемы рассматриваемой системы состоят из двух отдельных секторов. Взаимодействие хлопка с рабочими органами в первом из них (рис.1) совершается на поверхности колка набрасывающего барабана, а во втором (рис.2) – с отрывом от колка набрасывающего барабана до попадания к диску пыльного цилиндра.

Расчетная схема движения хлопка на поверхности колка барабана (см. рис. 1) состоит из массы  $m$ , находящейся на поверхности вращающегося с постоянной угловой скоростью колкового барабана, который имеет радиус  $R$  и начальный угол  $\varphi_0$ , и совершающей относительно него перемещение  $S$  за время  $t$ .

Обозначим угол захвата хлопка колковым барабаном  $\varphi_0$ , а угол сброса –  $\varphi_1$ . Предположим, что масса хлопка в процессе передвижения меняется незначительно, а тогда величиной сора и сорных примесей, ушедших с воздухом, из-за их малости можно пренебречь (при этом засоренность хлопка-сырца на I–III сортах составляет 3–5%).

Выберем неподвижную систему координат с началом в точке  $O$  и обозначим её  $XOY$ . Подвижную и относительную систему координат выбираем с началом в точке  $O_1$  на барабане. Ось  $O_1\tau$  направлена по касательной  $90^\circ-\alpha$  к диаметру ( $\alpha$ –угол наклона колка относительно радиальной оси). За положительное направление примем вращение по часовой стрелке, ось  $O_1n$  – перпендикулярна к оси  $O_1\tau$ , системы координат  $\tau O_1 n$ , жестко связанной с барабаном и, следовательно, вращаемой вместе с ним с постоянной угловой скоростью  $\omega$ .

Масса хлопка, лежащего на колке барабана, рассматривалась в виде цельного прямоугольника со сторонами  $S_{np}=l_{раб} \times L$ , где  $l_{раб}$  – рабочая длина барабана;  $L$  – высота колка. При этом предполагалось, что она сосредоточена в центре прямоугольника и в зависимости от производительности толщина слоя хлопка, которая выбиралась для  $\Pi=1200 \text{ кг/ч}$ ,  $\Delta_{ср}=0.0166 \text{ м}$  (она зависит от плотности хлопка-сырца и габаритных размеров джина) меняется.

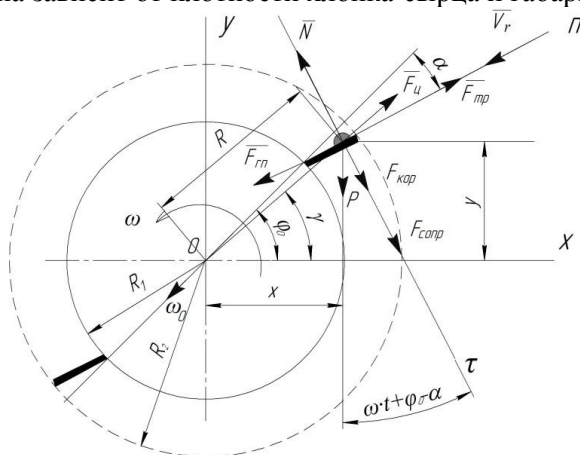


Рис. 1. Расчетная схема движения хлопка на поверхности колка барабана

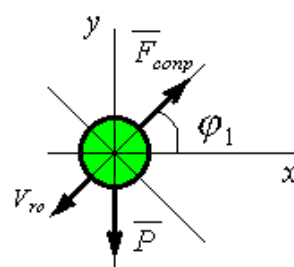


Рис. 2. Расчетная схема движения хлопка с отрывом от колка барабана

На массу хлопка действуют следующие силы [1]:  $P=m \cdot g$  – вес хлопка, Н;  $F_u=m \cdot R \cdot \omega^2$  – центробежная сила, Н;  $F_{mp}=K_{mp} \cdot N$  – сила трения хлопка о поверхность колка, Н;  $N$  – нормальная сила реакции, Н;  $F_{comp}=K^* \cdot v^2$  – сила сопротивления воздушного потока, Н; где  $v=\omega \cdot R$  – абсолютная скорость воздушного потока, м/с;  $\omega=\pi \cdot n/30$  – угловая скорость колкового барабана, рад/с;  $n=30 \cdot \omega/\pi$ , мин<sup>-1</sup> – частота вращения колкового барабана;  $K^*$  – коэффициент пропорциональности;  $K_{mp}=0,3$  – коэффициент трения между хлопком и колковыми барабанами;  $V_s=0,6 \cdot V_{603}$  – скорость витания, м/с;  $V_{ro}$  – относительная скорость колкового барабана и хлопка до падения на колкок колкового барабана, м/с.

Составим уравнение динамики материальной точки

$$m \cdot \overline{W} = \overline{F}_{mp} + \overline{P} + \overline{F}_u + \overline{F}_{comp} + \overline{N}. \quad (1)$$

Так как  $\overline{W} = \overline{W}_{rn} + \overline{W}_{r\tau} + \overline{W}_{en} + \overline{W}_{e\tau} + \overline{W}_{kop}$ , то для относительного движения получим

$$m \cdot \overline{W}_{r\tau} = -m \cdot \overline{W}_{rn} - m \cdot \overline{W}_{en} - m \cdot \overline{W}_{kop} + \overline{F}_{mp} + \overline{P} + \overline{F}_u + \overline{F}_{comp} + \overline{N} \quad (2)$$

где  $\overline{W}_{kop} = 2 \cdot \omega \cdot \dot{s}$ ;  $\dot{s} = ds/dt$  – скорость относительного движения хлопка, м/с;  $\overline{W}_{rn} = \dot{s}^2/R$ ;  $\overline{W}_{e\tau}$  – тангенциальное ускорение в переносном движении, равно нулю, так как  $\dot{\omega} = \text{const}$ .

Проектируя уравнение (2) на ось  $O_1\tau$  (см. рис. 1), получим

$$N + m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \gamma - K^* \cdot (\omega \cdot R)^2 - 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{s} - m \cdot g \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_o - \alpha) = 0. \quad (3)$$

Отсюда находим нормальную реакцию

$$N = K^* \cdot (\omega \cdot R)^2 + 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{s} + m \cdot g \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_o - \alpha) - m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \gamma. \quad (4)$$

Проектируя (2) на ось  $O_1n$  (см. рис. 1) и сокращая массы хлопка, получим уравнение относительного движения хлопка по поверхности колкового барабана

$$\ddot{s} = \frac{d^2s}{dt^2} = K_{mp} \cdot \left[ \frac{K^* \cdot (\omega \cdot R)^2}{m} + 2 \cdot \omega \cdot \dot{s} + g \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_o - \alpha) - \omega^2 \cdot R \cdot \sin \gamma \right] - \frac{\dot{s}^2}{R} - g \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_o - \alpha) + \omega^2 \cdot R \cdot \cos \gamma. \quad (5)$$

Абсолютное значение траектории движения хлопка определялось уравнением  $L'=L'+s$  при различных углах  $(\omega t + \varphi_o - \alpha)$ , а в координатах – уравнениями  $x=R_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi_o) + L \cdot \cos(\omega t + \varphi_o - \alpha)$  и  $y=R_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_o) + L \cdot \sin(\omega t + \varphi_o - \alpha)$ . При этом значения  $R \neq \text{const}$  для уравнения (5) определяется из выражения  $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ , а угол  $\gamma = \text{arctg } y/x$  (см. рис. 1).

При решении уравнения (5) для первой части (сектора) движения хлопка по колку барабана, когда  $L < L'$ , решение уравнения (5) прекращалось, так как это соответствовало отрыву хлопка с поверхности колка барабана.

Здесь  $\Delta_x=0,018$  м – расстояния между колковым барабаном и колосниковой решеткой;  $\Delta_y=0,2365$  м – расстояния между осями барабана и пыльного цилиндра по оси X;  $\Delta_z=0,08969$  м – расстояния между осями барабана и пыльного цилиндра по оси Y;  $L'$  – уравнения движения хлопка, совершающегося на поверхности колка барабана в функции угла вращения;  $R_1$  – радиус набрасывающего барабана без вершин колков;  $R_2$  – радиус набрасывающего барабана, включающий вершины колка.

Расчетная схема для движения хлопка с отрывом от колка барабана (см. рис.2) состоит из массы  $m$ , брошенной с поверхности колка барабана со скоростью  $V_{ro}$  под углом сброса  $\varphi_1(\omega \cdot t + \varphi_o)$  к горизонтальной оси, совершающей перемещение  $S$  за время  $t$ .

Выберем неподвижную систему координат с началом в неподвижной точке  $O$  и обозначим её  $XOY$ . На хлопок действуют две силы: сила тяжести  $\overline{P}$ , направленная по вертикали вниз, и сила сопротивления воздушного потока  $\overline{F}_{comp}$ , направление которой противоположно направлению скорости  $V_{ro}$ . Равнодействующая сила

$$m \cdot \overline{W} = \overline{P} + \overline{F}_{comp}. \quad (6)$$

Для проекций равнодействующей силы  $m \cdot \overline{W}$  на оси координат, считая, что в выбранном положении точки в положительных значениях  $\overline{V}_x$  и  $\overline{V}_y$ , имеем

$$F_x = -(K^* \cdot V_y^2) \cdot \sin(\varphi_1); \quad F_y = -(K^* \cdot V_x^2) \cdot \cos(\varphi_1) - m \cdot g. \quad (6')$$

Дифференциальные уравнения относительного движения хлопка имеют следующий вид:

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -(K^* \cdot V_x^2) \cdot \sin(\varphi_1); \quad m \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = -(K^* \cdot V_y^2) \cdot \cos(\varphi_1) - m \cdot g; \quad (6'')$$

или

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{(K^* \cdot V_x^2) \cdot \sin(\varphi_1)}{m}; \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{(K^* \cdot V_y^2) \cdot \cos(\varphi_1)}{m} - g. \quad (7)$$

Абсолютное значение траектории движения хлопка в координатах определяется уравнениями  $x=x+s$  и  $y=y+s$ , угол попадания хлопка на диск пильного цилиндра равен

$$\varphi_0 = \arctg \left[ \frac{y + \Delta_y}{x + \Delta_x} \right], \text{ а длина прямой } L_d = \sqrt{(x + \Delta_x)^2 + (y + \Delta_y)^2}.$$

При решении системы уравнения (7) для второй части движения хлопка с отрывом от колка барабана, когда  $L_d \leq R$ , решение уравнения (7) прекращалось, так как это соответствовало падению хлопка на поверхность пильного цилиндра.

При решении уравнения (5) и системы (7) использовался численный метод Рунге–Кутты для дифференциального уравнения второго порядка вида  $\ddot{s} = d^2s/dt^2 = F(t, s, \dot{s})$  [3]. Перед началом вычислений задавались шаг  $\Delta t$  и начальные значения  $t_0$ ,  $s(t_0) = s_0$  и  $\dot{s}(t_0) = \dot{s}_0$ .

Нами использованы следующие начальные данные 137- пильного джина китайского производства, установленного на Узбекистанском хлопкозаводе Ташкентской области:

- конструктивные –  $l_{paб} = 0.55\text{м}$ ;  $L = 0.015\text{м}$ ;  $R_в = 0.07\text{м}$ ;  $R = 0.0725\text{м}$ ;  $R_1 = 0.058\text{м}$ ;  $\Delta_x = 0.2365\text{м}$ ;  $\Delta_y = 0.08969\text{м}$ ;  $\Delta_a = 0.018\text{м}$ ;  $\varphi_0 = 60^\circ$ ;  $\alpha = 60^\circ$ ;

- кинематические –  $\omega_в = 1.277 \text{с}^{-1}$ ;  $\omega = 36.65 \text{с}^{-1}$ ;  $V_{ro} = \omega_в \cdot R_в = 0.089 \text{м/с}$ ;

- аэродинамические –  $K^* = \Delta_{cp} \cdot l_{paб} \cdot \omega \cdot R = 0.01216 \text{кг/м}$ ;

- технологические –  $\rho_в = 30 \text{кг/м}^3$ ;  $s_{np} = l_{paб} \times 0.015 = 0.0079\text{м}^2$ ;  $\Pi = 1200 \text{кг/ч}$ ;  $q = 0.499 \text{кг/м}^2$ ;  $m = q \cdot s_{np} = 0.0021 \text{кг}$ ;  $\Delta_{cp} = 0.0166\text{м}$ .

На основе реализации математической модели пильного джина с набрасывающим барабаном на ЭВМ построены графики изменения движения хлопка-сырца на поверхности колка барабана в зависимости от угла падения (рис.3) и скорости падения  $V_{ro}$  на поверхность колка барабана (частоты вращения питающих валков и производительности питателя) (рис.4); от диаметра (рис.5) и частоты вращения набрасывающего барабана (рис.6).

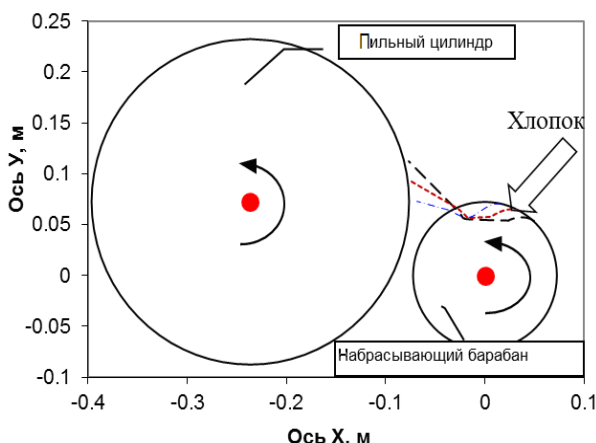


Рис. 3. Изменение траектории хлопка в зависимости от угла падения на поверхность набрасывающего барабана:  
 - - - 45°    - · - · 60°    - · - · 75°

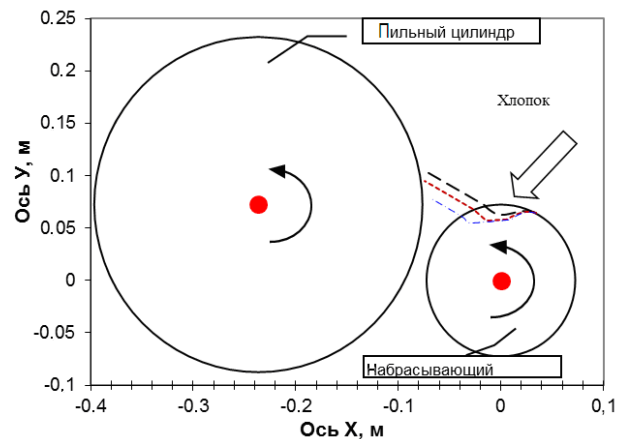


Рис. 4. Изменение траектории хлопка в зависимости от частоты вращения питающих валков и производительности питателя:  
 - - -  $\Pi = 1000 \text{кг/ч}$     - · - ·  $\Pi = 1200 \text{кг/ч}$     - · - ·  $\Pi = 1400 \text{кг/ч}$



Как установлено (см. рис.3), с ростом  $\varphi_0$  увеличиваются путь и время прохождения хлопка по поверхности колка набрасывающего барабана. Из рис.4 видно, что с увеличением частоты вращения питающих валиков соответственно увеличиваются производительность питателя, путь прохождения хлопка по поверхности колка набрасывающего барабана.

Согласно рис.5, с увеличением диаметров набрасывающих барабанов увеличиваются угол и высота попадания хлопка к пильному цилиндру.

Установлено (рис.6), что с увеличением  $\omega$  уменьшаются путь и время прохождения хлопка по поверхности колка набрасывающего барабана и увеличиваются угол и высота попадания хлопка на поверхность пильного цилиндра.

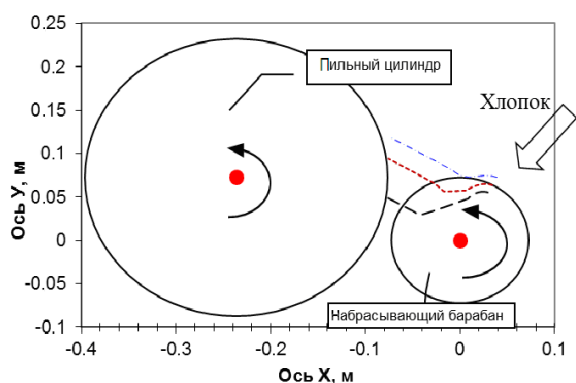


Рис.5. Изменение траектории хлопка в зависимости от диаметра набрасывающего барабана:

---  $\Phi 125\text{мм}$     - - -  $\Phi 145\text{мм}$     - - -  $\Phi 165\text{мм}$

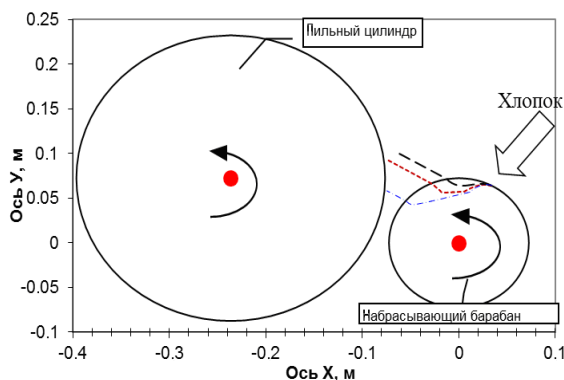


Рис.6. Изменение траектории хлопка в зависимости от частоты вращения набрасывающего барабана:

- - - 350 об/мин    - - - 400 об/мин    - - - 300 об/мин

Выявлено (рис.7), что с увеличением  $\alpha$  из-за малости высоты колка ( $L=0,015\text{м}$ ) увеличиваются незначительно угол и высота попадания хлопка на поверхность пильного цилиндра.

В работе варьировались следующие параметры:  $\varphi_0=45-75^\circ$ ;  $\Pi=1000-1400$  кг/ч;  $\omega=36.65-47.12\text{с}^{-1}$ ;  $R=0.0625-0.0825$  м;  $R_l=0.048-0.068$  м. Нахождение рациональных параметров набрасывающего барабана велось методом Гаусса-Зайделя [4] по критерию пути снижения ударного импульса хлопка к пильному цилиндру.

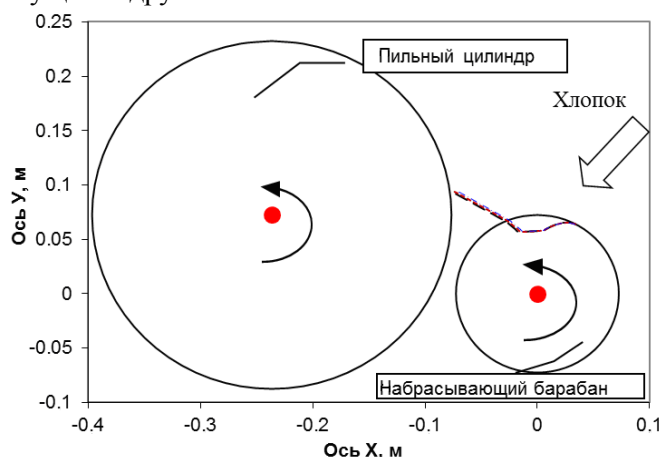


Рис.7. Изменение траектории хлопка в зависимости от наклона колка набрасывающего барабана:

---  $10^\circ$     - - -  $15^\circ$     - - -  $20^\circ$

Анализ рис. 1 – 7 показал следующее:

- снижение угла падения хлопка на поверхность набрасывающего барабана от  $90^\circ$  до  $45^\circ$  приводит к увеличению габарита и массы рабочей камеры джина, угла попадания хлопка с  $-11^\circ$  до  $7^\circ$  на поверхность пильного цилиндра и снижению скорости хлопка от 2,93 до 2,07 м/с;

- увеличение производительности по хлопку от 1000 до 1400 кг/ч приводит к снижению угла попадания хлопка на поверхность пильного цилиндра от  $5^\circ$  до  $-4^\circ$ ;

- увеличение диаметра набрасывающего барабана от 125 до 165 мм приводит к увеличению габарита и массы рабочей камеры джина и угла попадания хлопка на поверхность пыльного цилиндра от  $-15^\circ$  до  $12^\circ$ ;
- увеличение частоты вращения набрасывающего барабана от 300 до 400 об/мин приводит к пропорциональному увеличению скорости хлопка до 30% и уменьшению угла попадания хлопка от  $-10^\circ$  до  $6^\circ$ , а при ниже 300 об/мин не происходит сброса хлопка от колка барабана;
- изменение угла наклона колка незначительно влияет на характер движения хлопка.



Рис.8. Траектория движения хлопка (диаметр – 145мм, частота вращения – 350 об/мин, производительность – 1200 кг/ч, угол падения хлопка на поверхность колка набрасывающего барабана  $\varphi_0=60^\circ$ )

Для проверки достоверности теоретических исследований закона движения хлопка нами проведены экспериментальные исследования (рис. 8).

В результате исследования кинематики и типоразмера набрасывающего барабана 137-пыльного джина с использованием движения хлопка-сырца установлены относительная скорость хлопка в зоне сброса 0.2667 м/с при угле  $114^\circ$  относительно барабана. Скорость перед попаданием на поверхность пыльного цилиндра составляет 2.562 м/с при угле  $1^\circ 02'$  относительно пыльного цилиндра. Эти параметры получены при расстояниях оси  $\Delta_x=0.2365$  м;  $\Delta_y=0.08969$  м, а расстояния между набрасывающим барабаном ( $\varnothing 145$ ) и пыльным цилиндром ( $\varnothing 320$ ) составляют  $a_w=0.25294$  м.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мухаммадиев Д.М., Ахмедов Х.А. Исследование относительного движения хлопка-сырца на поверхности набрасывающего барабана // Проблемы механики. Ташкент, 2012. №4. С. 53–57.
- [2] Абдуллаев К.Х. Разработка и обоснование параметров колкового барабана питателя джина ПД: Дис. ... канд. техн. наук. Наманган, 1998. – 154 с.
- [3] Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке БЕЙСИК для персональных ЭВМ. М.: Наука, 1987. – 240 с.
- [4] Аугамбаев М., Иванов А.З., Терехов Ю.Т. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента. Ташкент: Ўқитувчи, 1993. -141 с.

Научно-исследовательский центр по проблемам отраслевого машиноведения  
при Ташкентском государственном техническом университете

Дата поступления  
21.10.2015

**Д.М. Мухаммадиев, Х.А. Ахмедов. Пахтанинг қия қозіқчали барабан юзасидаги нисбий ҳаракатини тадқиқ қилиш**

Мақолада пахтанинг қия қозіқчали барабан юзасидаги нисбий ҳаракатини тадқиқ қилиш натижалари келтирилган. Отиб берувчи барабанинг геометрик, кинематик ва технологик параметрлари аниқланган.

**D.M. Muhammadiev, H.A. Axmedov. Investigation of the cottons movement on the surface of drum with inclined pegs**

The article presents the results of a study of the relative movement of cotton on the drum surface with inclined pegs. The geometric, kinematic, technological parameters of throwing drum of saw gin.

## ТОЛАЛИ ЧИҚИНДИЛАР ТАРКИБИДАН УЗУН ТОЛАЛАРНИ АЖРАТИШ БАРАБАНИ ТОЛА СИҒИМИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

Тўқимачилик саноатининг йиғирув ишлаб чиқаришида пахта толасини технологик хусусиятларини анъавий усулда унинг штапел диаграммасига асосланиб баҳолаб келинади. Диаграмманинг энг юқори нуқтаси пахта намунасидаги энг кўп учрайдиган толалар узунлигига тўғри келади ва модал узунлик деб аталади ҳамда  $L_m$  билан белгиланади. Модал узунликдан 3–4 мм узунроқ толалар гуруҳидаги ўртача узунлик штапел узунлик деб аталади ва  $L_{um}$  билан белгиланади. Диаграммадаги ҳамма толаларнинг узунлигига тўғри келадиган узунлик ўртача узунлик деб аталади ва  $L_y$  билан белгиланади. Модал ва штапел узунликларга қараб йиғирув технологик жиҳозлари таркиби ва уларнинг созлаш параметрлари белгиланади.

Бу ерда шу нарса муҳимки, XX асрнинг учинчи чорагигача чигитдаги пахта толаларининг 20 мм дан узунлари йиғириш учун яроқли ҳисобланган бўлса, 70-йилларга келиб йиғирув технология ва жиҳозларининг ривожланиши натижасида бу чегара 14 мм, кейинги йилларда эса 12.7 мм деб ҳисобланмоқда. Йиғиришга яроқсиз ҳисобланган калта толалар момиқ ҳисобланади.

Пахта тозалаш корхоналарида линтерлашдан чиқаётган момиқ массаси таркибидаги йиғиришга яроқли толалар ҳам пресслашга ўтиб кетади. Момиқ таркибидаги узун толалар жин машиналари томонидан пахта чигитининг толалари тўлиқ ажратиб олинмаслиги натижасида юзага келади. Тўлиқ жинланмаган чигит одатда регенератор ёрдамида умумий массадан ажратиб олинади ва жин машинасига қайтариб ташланади. Аммо бу ҳолат жин меҳнат унумдорлигини пасайтиради, чигитнинг шикастланиши ортишига сабаб бўлади. Натижада тола сифати ҳам ёмонлашади. Қолаверса чала жинланган чигит толасининг умумий масса таркибида тўлиқ ажратиб олиш эҳтимоли паст. Шунинг учун бундай чигитларнинг асосий қисми жин машинаси камерасидан ўзгаришсиз қайтиб чиқади. Шу сабабдан кўпчилик пахта тозалаш корхоналари регенераторлардан фойдаланмайдилар ва чала тозаланган чигит линтер машинасига узатилади ҳамда узун толалар момиқлар биргаликда чигит юзасидан қириб олинади. Натижада момиқ таркибида узун йиғиришга яроқли толалар пайдо бўлади. Бу ўз навбатида аввало кимматбаҳо тўқимачилик хом-ашёсининг момиқ таркибига ўтиб кетиши ва нобуд бўлишига, иккинчи томондан момиқ таркиби узунлиги бир хиллигининг йўқолиши натижасида сифатининг ёмонлашишига сабаб бўлади.

Момиқ таркибида узун толаларнинг бўлиши кимё саноатида уни қайта ишлашни кийинлаштиради ва одатда узун толаларни кесиб – майдалашни тақазо қилади. Бу эса кўшимча сарф–ҳаражатларга олиб келади [1].

Ушбу камчиликларни бартараф қилиш, толаларни нобуд бўлишини камайтириш ва момиқ сифатини яхшилаш мақсадида 1-босқич линтер машинасидан кейин момиқ ташувчи пневмокувур йўлига ҳаво-момиқ аралашмаси таркибидан узун толаларни ажратиб оладиган ускуна ўрнатиш таклиф қилинди. Ускунани ишчи органлари айланишида чизиқли тезлиги ҳаво тезлигидан каттароқ бўлган, игнали ёки яхлит металл аррачали лента (ЯМАЛ) кўринишидаги гарнитура билан қопланган ва узун толаларни ушлаб қоладиган ажратувчи барабан ва ундан узун толаларни ажратиб олувчи чўткали барабандан иборат бўлиши тавсия этилди [2].

Ажратувчи барабан гарнитурасининг тури ва геометрик параметрларини тўғри танлаш узун толаларни ажратиш жараёнини яхшилашни таъминлайди. Лекин ҳозиргача ажратувчи барабан гарнитурасининг геометрик параметрлари назарий томондан асосланмаган.

Ваҳоланки гарнитуранинг геометрик параметрлари узун толани ажратиш технологик жараёни самарали бўлишини таъминлайдиган икки умумлашган параметрларини: унинг тола сиғдириши ва толани ушлаб туриш қобилиятини белгиловчи асосий омил ҳисобланади.

Гарнитуранинг тола сиғдириш қобилияти – бу ажратувчи барабанинг бирлик юзасига тўғри келувчи ҳажм сифатида тавсифланувчи бирлик.

Гарнитуранинг ушлаб туриш қобилияти маълум усулда унга юкланган толаларнинг белгиланмаган ўринда ва вақтда тушиб кетишига қаршилик кўрсатиш қобилиятидир.

Барабан юзасида тола сиғдириш имконияти ёки ундаги бўш ҳажм қанчалик кўп бўлса, ажратувчи барабаннинг ажратиш зонасида гарнитура тишларидан толаларни чўткали барабанга ўтиши яхшироқ амалга оширилади, ушлаб туриш қобилияти эса етарлича паст бўлади.

Кўрилатган узун толани ажратиш ускунаси ишчи органлари ва уларда бажариладиган технологик жараёнлар тараш машинасидагиларга ўхшаб кетади. Тараш машинаси ишчи органлари учун аррали ва игнали гарнитуранинг тола сиғдириш ва ушлаб туриш қобилияти [3] ишда тадқиқ қилинган. Ишда бу кўрсаткичлар учун хулоса чиқаришда бир қатор рухсат этишлар қўлланилган: ЯМАЛ тишлари орасидаги айланиш радиуслари, лента асосининг баландлиги, тишларнинг орқа бурчаклари, қиялик бурчаги ва конус қисмининг марказий бурчаги ва бошқалар ҳисобга олинмаган.

Қуйида аррали ва игнали гарнитуранинг барча геометрик параметрларини ва барабан ўлчамларини ҳисобга олган ҳолда тола сиғдириш ва ушлаб туриш қобилиятини аниқлаш масаласи кўриб чиқилган. Ажратувчи барабан тараш машинаси асосий барабанига яқин ишлар экан ва конструкцияси бўйича фарқ қилмас экан, тола сиғдириш ва ушлаб туриш қобилиятини тадқиқ қилишда А. Ашпин ва А.Муҳиддинов томонидан [3,4] таклиф қилинган услубдан фойдаланамиз.

Гарнитуранинг тола сиғдириши, яъни барабан юзасининг бирлигига тўғри келувчи гарнитуранинг бўш ҳажми  $V_{cB}$ , бирлик юза ва гарнитуранинг баландлиги  $h$  ҳосил қиладиган ҳажм  $V_h$  ва гарнитура ҳажми  $V_r$  нинг айирмаси сифатида қуйидагича аниқланади:

$$V_{cB} = V_h - V_r. \quad (1)$$

Бирлик юза сифатида  $100 \text{ мм}^2$  га тенг бўлган барабан юзасини қабул қиламиз. Бунда ҳажм  $V_h$  қуйидаги формула ёрдамида топилади:

$$V_h = 100 \cdot h, \text{ (мм}^3/\text{мм}^2) \quad (2)$$

бу ерда  $h$  - гарнитура баландлиги, мм.

Яхлит металл аррачали лента кўринишидаги гарнитура ҳажми  $V_r$  (1 -расм) ни қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

$$V_r = V_1 + V_2 \quad (3)$$

бу ерда  $V_1$  –  $100 \text{ мм}^2$  майдондаги гарнитура тишларининг ҳажми;  $V_2$  –  $100 \text{ мм}^2$  майдонда барабан юзасидан чиқиб турган аррачали лента асос қисмининг ҳажми.

$V_1$  қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$V_1 = V_0 P_s = V_0 \frac{100}{S \cdot t}, \text{ (мм}^3/\text{мм}^2) \quad (4)$$

бу ерда  $V_0$  – аррачали гарнитура битта тишининг ҳажми;  $P_s$  – гарнитура тишларининг зичлиги, яъни бирлик юзадаги ( $100 \text{ мм}^2$  да) тишлар сони;  $S$  – аррачали лентанинг ўралиш қадами, мм;  $t$  – тишлар сони, мм.

Аррачали лента битта тишининг ҳажмини аниқ ҳисоблаш натижасида биз томонимиздан қуйидаги қийматлар олинди:

$$V_0 = \frac{1}{4} [K_{11} h_2^2 (K_{12} b_1 + b_2) + K_{12} K_{13} \cdot c^2 b_1], \text{ (мм}^3) \quad (5)$$

бу ерда  $K_{11} = \frac{2a_1}{h_2} + tg\beta_1 - tg\beta$ ;  $K_{12} = \frac{h_2}{h - h_1}$ ;  $K_{13} = K_{14} + K_{15}$ .

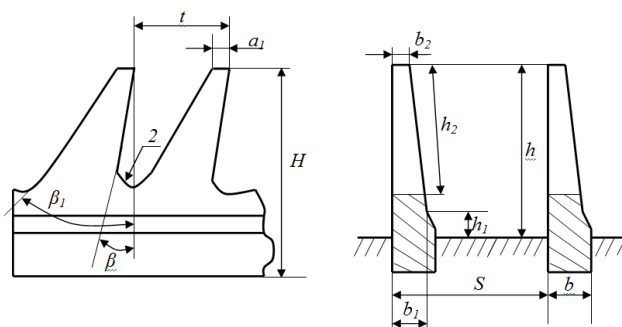
$$K_{14} = \left[ \frac{2(1 + \sin \beta)}{\cos \beta} - \frac{\pi}{2} - \beta \right] \cdot \left[ 2 - \frac{r}{h_2} (1 + \sin \beta) \right];$$

$$K_{15} = \left[ \frac{2(1 - \sin \beta)}{\cos \beta} - \frac{\pi}{2} + \beta_1 \right] \cdot \left[ 2 - \frac{r}{h_2} (1 - \sin \beta_1) \right]$$

ЯМАЛ тишининг 1-расмдаги тасвирига мувофиқ:

$h$  – гарнитуранинг баландлиги;  $h_1$ -аррачали лента асосининг чиқиб турган қисми баландлиги;  $h_2$  – аррача тишининг баландлиги;  $a_1$  – аррача тишининг учидаги кенглиги;  $b_1$ – аррачали лента

тишининг кенглиги;  $r$  – аррача тиши ботиғининг юмалокланиш радиуси;  $\beta$  – аррача тишининг қиялик бурчаги;  $\beta_1$  – аррача тиши орқа қиррасининг қиялик бурчаги.



1-расм. Яхлит металл аррачали лента кўринишидаги гарнитура ҳажмини ҳисоблаш схемаси

(5) ни (4) га қўйиб, қуйидагини оламиз:

$$V_1 = \frac{100}{4St} [K_{11}h_2^2(K_{12}b_1 + b_2) + K_{12}K_{13}r^2b_1]. \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (6)$$

Барабан юзасида чиқиб турган аррали лента қисми асосининг ҳажми  $V_2$ :

$$V_2 = \frac{100}{2S} [bh_1 + b_1(h - K_{12}h_2)], \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (7)$$

бу ерда  $b$  – аррачали лента асосининг кенглиги.

(6) ва (5) ни (3) га қўйиб ва алгебрик ўзгартиришлар бажариб, ҳисоблаш учун осонроқ ҳолга келтирамиз

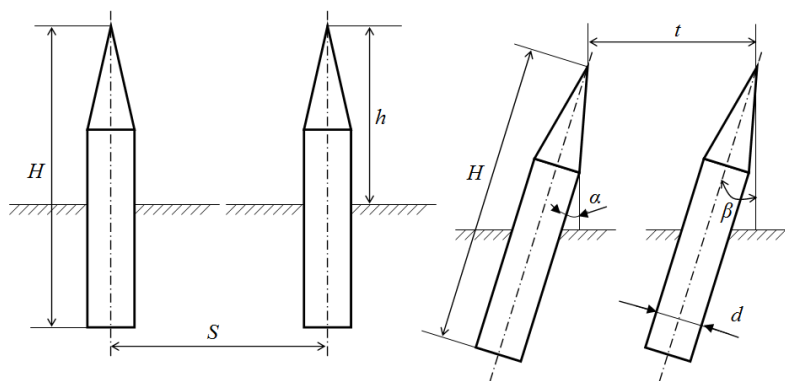
$$V_r = \frac{100b_1}{2S} [K_1h - K_2h_2 + K_3b + K_4r], \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (8)$$

бу ерда коэффициентлар қуйидагича берилган:

$$K_1 = 1 + K_{12}, \quad K_2 = K_1 + \frac{b_2h_2}{2tb_1} K_{11}, \quad K_3 = \frac{2h_1}{b_1}, \quad K_4 = K_{12}(K_{11}h_2^2 + K_{13}r^2 - 2 + h_1) \frac{1}{2tr}$$

Бу формулаларда аррали лентанинг геометрик ўлчамлари 1–расмда кўрсатилган қийматларга мос келади.

Энди игнали гарнитура бирлик юзадаги ҳажми топамиз (2-расм).



2-расм. Игнаги гарнитура бирлик юзадаги ҳажми

Агар гарнитура игналари цилиндрик қисмга эга бўлса у ҳолда:

$$V_r = \frac{100\pi d^2}{12St} \left( \frac{3h}{\cos \beta} - \frac{d}{\text{tg } \alpha} \right). \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (9)$$

Бунда  $d$  – игна диаметри;  $\alpha$  – игна конус қисми ён қирраларнинг қиялик бурчаги.

Агар игналар цилиндрик қисмга эга бўлмаса, у ҳолда конус шаклига эга бўлади, у ҳолда:

$$V_r = \frac{100\pi h^3 \sin^2 \alpha}{3St \cos \alpha (\cos^2 \beta - \sin^2 \alpha)}. \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (10)$$

Бунда  $t$  –гарнитура игналарининг қадами;

Барабанда тишлари тўғри гарнитура қўлланганда, яъни  $\beta=0^\circ$  бўлса, у ҳолда (9) ва (10) формулалар куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$V_r = \frac{100\pi d^3}{12St} \left( \frac{3h}{d} - \frac{1}{\text{tg} \alpha} \right), \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (11)$$

$$V_r = \frac{100\pi h^3 \sin^2 \alpha}{3S + (1 - \sin^2 \alpha)} - \frac{100\pi h^3 \text{tg}^2 \alpha}{3St}. \quad (12)$$

(2) ва (8) ни (11) га қўйиб, аррачали гарнитуранинг бўш ҳажмини оламиз:

$$V_{cb} = 100 \left[ h - \frac{b_1}{2S} (K_1 h - K_2 h_2 + K_3 b + K_4 r) \right]. \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (13)$$

Шунга ўхшаш, биринчи вариантдаги игнали барабан учун:

$$V_{cb} = 100h \left[ 1 - \frac{\pi d^2}{12tS} \left( \frac{3}{\cos \beta} - \frac{d}{h \text{tg} \alpha} \right) \right]. \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (14)$$

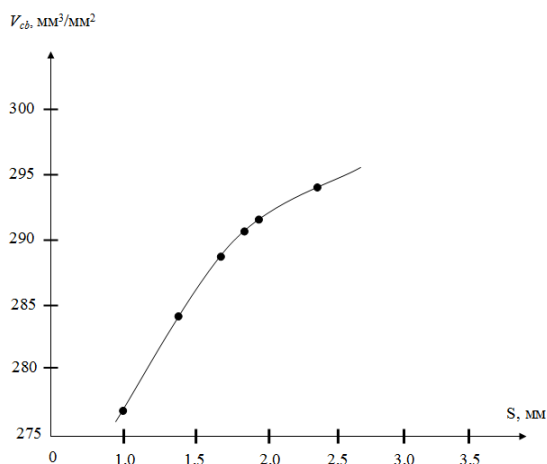
Иккинчи вариантдаги игнали гарнитура учун:

$$V_{cb} = 100h \left[ 1 - \frac{\pi d^2 \sin^2 \alpha}{3St \cos \beta (\cos^2 \beta - \sin^2 \alpha)} \right]. \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (15)$$

Тўғри игнали гарнитуралар учун мос равишда:

$$V_{cb} = 100h \left[ 1 - \frac{\pi d^2}{12St} \left( 3 - \frac{d}{h \text{tg} \alpha} \right) \right], \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (16)$$

$$V_{cb} = 100h \left[ 1 - \frac{\pi h^2 \text{tg}^2 \alpha}{3St} \right]. \quad (\text{мм}^3/\text{мм}^2) \quad (17)$$



3-расс. Гарнитура тола сиғимининг винтсимон чизиклар қадамига боғлиқлиги графиги

(13)–(17) формулалардан кўринадики, ҳар икки турдаги гарнитуранинг тола сиғдириши биринчи навбатда унинг тишлари баландлигига боғлиқ. Баландлик қанчалик катта бўлса, тола сиғими ҳам шунчалик катта бўлади. Бу формулалар ёрдамида бир нечта турдаги аррачали ва игнали гарнитураларнинг бўш ҳажми топилган. Ҳисоб натижалари аррачали ва игнали гарнитураларда тола сиғимининг ўзгариш қонуниятлари ўхшаш эканлигини кўрсатди. Мисол тариқасида игнали гарнитура учун жадвалда келтирилган ҳисоблар натижалари шунингдек тола сиғими  $V_{cb}$  нинг бўйлама йўналишдаги игналар қадамига  $S$  га боғланиши ҳам анча аҳамиятли кўрсаткич эканини кўрсатди. Жадвалдаги маълумотлар бўйича 3-рассда келтирилган эгри чизиклар буни яққол

ифодалайди.

### Игнали гарнитура учун хисоблаш натижалари

№	Винтсимон чизикларнинг кадами, мм	Гарнитураининг тола сизими, мм <sup>3</sup> /мм <sup>2</sup>			
		Қия игналы		Тўғри игналы	
		1-вариант	2-вариант	3-вариант	4-вариант
1	1.0	276.14	275.56	278.21	278.02
2	1.5	284.09	283.71	285.47	285.35
3	2.0	288.07	287.78	289.11	289.01
4	2.5	290.45	290.22	291.28	291.21
5	3.0	292.04	291.85	292.74	292.67

#### АДАБИЁТЛАР

- [1] Обидов А.А., Ғойибназаров Э.Э., Абдуллаев Р. Толали чиқиндилар таркибидан узун толаларни ажратиб олиш. НамМТИ, 2015 й. май.
- [2] Ғойибназаров Э.Э., Обидов А.А. Йигиришга ярқли пахта толасини ажратадиган қурилма. Патент олиш учун талабнома. FAP 2015. 01.25.
- [3] Ашнин П.Н. Кардочесание волокнистых материалов. М.: Легкая промышленность и бытовое обслуживание, 1985.
- [4] Мухитдинов А.М., Махкамов Р.Г. Загруженность зубьев гарнитуры расчесывающего барабанчика прядильно-роторной машины. Наманган, 1989.

Наманган муҳандислик-технология институти  
Наманган вилоят ҳудудий инновация фаолияти ва технологиялар трансфери маркази

8.04.2016 й.  
қабул қилинган

*А.А. Обидов, Х.Т. Ахмедходжаев, М. Абдувахидов. Исследование зависимости волокноемкости гарнитуры съемного барабана устройства отделения длинных волокон из состава волокнистых отходов*

*В данной статье представлены результаты исследования зависимости волокноемкости гарнитуры съемного барабана устройства отделения длинных волокон из состава лinta и других волокнистых отходов предприятий.*

*А.А. Obidov, H.T. Axmedhodjayev, M. Abduvahidov. Dependence voloknoemkosti doffer headset device separating long fibers from the fibrous waste*

*In given article are presented results of fibers dependencies capacity garnitures of withdrawable drum, device of separation of long fibers from composition lint and other filament enterprise wastes.*

УДК 631.5

### Б.С. СЕРИКБАЕВ, А.Т. ДЖУМАНАЗАРОВА

#### ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОКОВ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ

Орошаемая площадь Республики Каракалпакстан на 1 января 2016 г. составляла 508.706 тыс.га, из них под пашней 417.011 тыс. га, многолетними насаждениями – 8.876 тыс.га, приусадебными землями – 35.035 тыс.га, сенокосом, пастбищами, залежами и орошаемым лесом – 47.671 тыс.га. Дренажем обеспечено 371,32 тыс. га.

Площадь посева ведущих сельскохозяйственных культур в 2014 г. составила: хлопчатника – 94.700 тыс. га, риса – 9.798 тыс. га, пшеницы – 62.20 тыс. га.

Основной проблемой орошаемого земледелия является наличие сложно мелиоративно - неблагоприятных земель, которые составляют 93.08 тыс.га или 18 % поливного земледелия, из них по причине близкого залегания грунтовых вод – 40.38 тыс. га, по засолению почв – 33.87 тыс.га, по обводной причине – 18.83 тыс.га.

Уровень грунтовых вод до 1.5 м расположен на площади 59.21 тыс. га или 11.6% в период вегетационного периода 2014 г.

Из общей площади орошаемых земель 76 % засолены разной степени, из них сильно засолены 45.40 тыс. га или 9 %. Источником орошения Республики Каракалпакстан является трансграничная река Амударья, в маловодные годы в отдельных зонах производится забор коллекторно-дренажных вод на орошение путем произвольного смешивания их с речной водой без научно-практического обоснования и без учета их природно-хозяйственных условий.

В целом по республике водозабор в 2014г. составил 6115.7 млн м<sup>3</sup>, а в 2013 г. – 6155.7 млн м<sup>3</sup>. Обеспечение водой на один гектар орошаемой площади составило 11.8 тыс. м<sup>3</sup>, отвод сто-

ков коллекторно-дренажных сетей – всего 1630.7 млн м<sup>3</sup> или 26.6 %, из них отведено в реку Амударью только с территории Турткульского и Амударьинского районов 33,7 млн м<sup>3</sup>.

За пределы орошаемых земель отведено 1597.11 млн м<sup>3</sup>, из них: в пески и низины Кызылкума – 591.85 млн м<sup>3</sup>; в Приаралье – 825.74 млн м<sup>3</sup>; в межреспубликанский коллектор Дарьялык с территории Амударьинского района – 212.86 млн м<sup>3</sup>, модуль дренажного стока – 0.3 л/с с одного га, сток с одного гектара составляет 3.16 тыс. м<sup>3</sup> в год.

Минерализация коллекторно-дренажных вод (КДВ) в 2014 г. по республике составила в среднем 2.892 г/л, по сравнению с 2013 г. уменьшилась до 0.431 г/л.

Нами проводятся теоретические, экспериментальные и лабораторные исследования в целях полного использования стоков КДВ на орошение сельхозкультур и обеспечение дефицита оросительной воды в период вегетации, высвобождение части речных, подземных, атмосферных вод для использования их в других отраслях народного хозяйства, в том числе для обеспечения питьевой водой населения и обводнения пастбищ, особенно Приаральской зоны. При использовании стоков КДВ на орошение проведены комплекс агротехнических, мелиоративных, эксплуатационно водохозяйственных, экономических, экологических, санитарно-эпидемиологических и других мероприятий. В центре внимания были разработка и внедрение ресурсосберегающих способов, техники и технологий основного и повторного посева сельскохозяйственных культур на землях фермерских хозяйств и АВП.

Подготовка и технология использования на орошение коллекторно-дренажных вод сельскохозяйственных культур определялись содержанием наносов, степенью минерализации, а также наличием патогенных веществ. Поэтому для каждого массива с определенными природно-хозяйственными условиями произведены ирригационные оценки. Методы оценки воды по содержанию солей А.М.Можейко и Т.К.Воротник, М.Ф.Буданова, И.Антипова-Каратаева и Кадер и др. успешно используются в странах СНГ и в дальнем зарубежье. Более приемлемым для нашей рассматриваемой зоны является метод Департамента сельского хозяйства США, учитывающий показатель возможного осолонцевания почв, натриево-адсорбционное отношение (SAR), определяемое по формуле

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg) : 2}} \quad (1)$$

Н.С. Рабочев рекомендовал по пятибалльной системе оценить природные воды, что пригодно для оценки вод КДС, используемых на орошение сельскохозяйственных культур (таблица).

#### Оценка качества воды по содержанию солей

Оценка, балл	Качество воды	SAR	Содержание солей, г/л	В том числе токсичных	
				г/л	%
1	Очень хорошее	<5	<1.0	<0.1	<10
2	Хорошее	6-10	2.0	0.4	20
3	Удовлетворительное	11-15	5.0	1.8	35
4	Малоудовлетворительное	16-20	8.0	4.0	50
5	Неудовлетворительное	>20	>8.0	>4.0	>50

Как видно, если коллекторно-дренажная вода содержит более 5 г/л солей, в том числе до 2 г/л токсичных соединений, необходимо разбавлять её пресной водой [1].

Кратность разбавления определена по формуле

$$Pr = \frac{aa_p + a_{кдв}}{a_{кдв}} \quad (2)$$

где Пр – кратность разбавления;  $a$  – коэффициент смешивания, показывающий часть расхода реки для разбавления коллекторно-дренажными водами;  $a_p$  и  $a_{кдв}$  – расход речной и коллекторно-дренажной воды, м<sup>3</sup>/с.

Коэффициент смешивания установлен по формуле

$$a = \frac{K_{кдв} - K_{см}}{K_{см} - K_p} \quad (3)$$

где  $K_{кдв}$ ,  $K_p$ ,  $K_{см}$  – минерализация коллекторно-дренажных вод речных и смешанных вод, мг/л.

Концентрация вредных веществ, согласно санитарно-токсикологическим показателям вредности, по которым определяются значения предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, устанавливается формулой [2]



$$C_{кдв} < C_{см} \left(1 - \sum_1^{i-1} \frac{C_p}{C_{см}}\right), \quad (4)$$

где  $C_{кдв}$ ,  $C_p$  и  $C_{см}$  – концентрация вредных веществ в коллекторно-дренажной, речной и смешанной воде, мг/л.

Расчет максимально-допустимой концентрации солей в стоке КДС, при которой орошение приводит к изменению содержания солей в почве в течение одного года, произвели по формуле Соболя и Дарабу [3]

$$C = \frac{\alpha \cdot M \cdot \sigma}{V \cdot 10^{-5}}; \quad (5)$$

$$\alpha = \varepsilon - \left[ a + \frac{C + V}{M \cdot \sigma} \cdot 10^{-5} \right] \quad (6)$$

где  $C$  – концентрация солей в оросительной воде, г/л;  $\alpha$  – показатель солевого режима почвы, г на 100 г почвы;  $M$  – мощность рассматриваемого почвенного слоя;  $V$  – использованное количество оросительной воды; м<sup>3</sup>/га;  $a$  – содержание растворимых солей в почве в начале наблюдения на 100 г;  $\varepsilon$  – содержание растворимых солей в почве в конце наблюдения на 100 г.

В зависимости от минерализации стоков КДС по формуле Израильсона необходимо определить период до начала вторичного засоления (при уровне грунтовых вод ниже 3.0 м):

$$M = \frac{S \cdot \sigma \cdot H}{C} \cdot 10^{-2}, \quad (7)$$

где  $M$  – допустимый слой оросительной воды, м;  $S$  – предельно допустимое содержание солей в почве на 100 г, почвы;  $C$  – степень минерализации стоков КДС, г/л;  $\sigma$  – объемная масса почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  – мощность увлажняющего слоя почвы, м.

Экономическая эффективность, экологическая безопасность использования коллекторно-дренажных вод на орошение сельскохозяйственных культур зависят от качества выполнения комплекса организационно-технических, агротехнических, лесотехнических, мелиоративных и эксплуатационно-водохозяйственных мероприятий.

### Выводы и предложения

1. Ограниченность водных ресурсов для орошения сельскохозяйственных культур препятствует дальнейшему расширению площадей орошаемых земель. Поэтому возникает необходимость поиска дополнительных источников орошения. Одним из дополнительных источников пополнения дефицита оросительной воды являются стоки КДВ, внедрение нормативов водопотребления и водосберегающей передовой научно обоснованной технологии поливов сельскохозяйственных культур.

2. При разработке мероприятий по использованию стоков КДВ на орошение необходимо проводить эксплуатационный мониторинг за техническим состоянием и стоками КДВ для их рационального использования.

3. Оснащение новейшими эксплуатационными приборами и установками по определению качества и количества расходов и регулированием стоков является одной из проблемных задач при налаживании технической эксплуатации КДС. Поэтому необходимо постоянно проводить учет стока КДВ. Кадастр стока воды дает возможность лучше оценить принятые технологии использования их на орошение на основе расчетного установления водоотведения и лимитного водозабо-рам.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Джуманазарова А.Т. Экономическая эффективность орошения сточными водами в условиях Республики Каракалпакстан // Сб.науч.тр. НГПИ. Нукус, 2008.С.43–44.
- [2] Джуманазарова А.Т. Энергетическая оценка влияния орошения сточными водами на пищевой режим почвы// Материалы Республиканской научно- практической конференции. Нукус, 2009.
- [3] Серикбаева Э.Б., Джуманазарова А.Т. Экологически безопасные технологии использования сточных вод в сельском хозяйстве // Проблема надёжности и безопасности гидротехнических сооружений. Материалы Республиканской научно-практической конференции. Ташкент: ТИИМ, 2006, С. 392–394.

*Б.С. Серикбаев, А.Т. Джуманазарова. Коллектор–зовур тизимлари сувларидан фойдаланиш технологиялари*  
*Мақолада Қорақалпоғистон Республикасининг ҳар хил табиий–хўжалик шароитларида дарё сувлари танқислиги-*  
*да қишлоқ хўжалик экинларини коллектор–зовур сувлари билан сугориш технологиялари бўйича илмий тадқиқот ишлари-*  
*нинг натижалари келтирилган.*

*B.S. Serikbaev, A.T. Djumanazarova. Technology use water drainage network*  
*The article presents the results of research work on the use of technology waste collector drainage water for irrigation of*  
*crops for different natural economic condition of the Republic of Karakalpakstan in the period of acute shortage of river water.*

УДК 621.841

**Х.С. САГДИЕВ, З.Р. ТЕШАБОЕВ, В.А. ГАЛИАСКАРОВ**

## **АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТАШКЕНТСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ОТ 22 АВГУСТА 2008 ГОДА НА СООРУЖЕНИЯ И ИХ ГРУНТОВЫЕ ОСНОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НАБЛЮДЕНИЙ**

Как известно, решение проблемы сейсмостойкости сооружений тесно связаны с результатами изучения последствия землетрясений, колебания сооружений и грунта при землетрясениях, а также зависит от результатов натурно - модельных испытаний сооружений при динамических типа сейсмических воздействий. В связи с этим результаты инструментальных наблюдений за колебанием сооружений и грунта и анализ последствия землетрясений имеют прямое отношение не только к нормативным документам, но и при оценке методов расчета на сейсмостойкость [1], усовершенствовании расчетных моделей и схем сооружений. Результаты натурных измерений являются исходной информацией для обоснования модели и теоретических предпосылок расчета зданий и сооружений. По записям колебания грунтового основания и здания формируются расчетные значения сейсмических воздействий, при этом большое значение имеет амплитудно-частотный спектр внешних нагрузок. В зависимости от спектра частот и жесткости строительные конструкции во время землетрясений ведут себя по-разному.

В статье [1] вкратце приведена информация о инженерно-сейсмометрических станциях наблюдений (ИССН), о строительных конструкциях зданий, где расположены ИССН, о произошедших землетрясениях, зарегистрированных на ИССН в 2005 – 2007 гг. Также приведены отдельные результаты регистрации колебания сооружений и их грунтовых оснований, оценка интенсивности землетрясений, сравнение расчетных данных с результатами инструментальных измерений на объектах, в которых расположены станции наблюдений. На основе полученных результатов будет создан банк данных землетрясений в зависимости от спектрального состава и интенсивности воздействия, разработаны синтетические осциллограммы землетрясений для применения в практических расчетах зданий и сооружений по конкретным регионам с учетом их грунтовых условий.

Как было отмечено в [1], ИССН работают в ждущем режиме на базе индивидуального питания и предназначены для регистрации воздействия землетрясений на здания и их грунтовые основания при землетрясениях интенсивностью 3 и выше баллов. ИССН производят записи перемещения и ускорения колебаний зданий и их грунтовых оснований при землетрясениях по измерительным точкам: грунт; подвал; пол первого этажа; пол среднего этажа; пол технического этажа и крыша зданий. Записи обрабатываются и вносятся в ПЭВМ для создания базы данных о произошедших землетрясениях и используются в дальнейших исследованиях и в практических расчетах.

В течение 2008 г. на ИССН были зарегистрированы по измерительным точкам перемещения и ускорения колебаний зданий института, гостиницы «Узбекистан» и сооружений Ташкентского радиотелевизионного передающего центра (ТашРТЦ) и их грунтовых оснований при землетрясениях 24 июня, 6 сентября и 22 августа 2008 года. Здесь приводятся результаты анализа колебания зданий и их грунтовых оснований по полученным данным на ИССН при произошедшем землетрясении 22 августа 2008 года.

По данным центральной сейсмической станции «Ташкент», 22 августа 2008 г. в 13 ч 26 мин местного времени в г. Ташкенте произошло землетрясение магнитудой 4.5 по шкале Рих-

тера. Эпицентр землетрясения находился северо-западнее г. Ташкента на расстоянии 15–20 км в районе поселка Назарбек. В Ташкенте сила подземных толчков составила 6 баллов.

Во время землетрясения 22 августа 2008 г. произошло автоматическое включение станций наблюдения, расположенных в 5-этажном кирпичном здании института и в сооружениях Таш-РТПЦ. Продолжительность полученных записей составляет:  $t_1=16-20.0$  с; длина записей  $l=640-760$  мм. Записи на станциях наблюдения получены осциллографами по измерительным каналам – регистрирующими перемещение и ускорение колебаний грунта и сооружений с помощью различных сейсмических датчиков. Для регистрации перемещения и ускорения колебания грунта и сооружения при землетрясениях в измерительных точках были использованы измерительные каналы, характеристики которых приведены в отчетах [2, 3]. Проведен анализ перемещений и ускорений колебания грунта и сооружений по записям, полученным в измерительных точках наблюдений объекта.

В качестве примера в табл. 1 приведены характеристики измерительных каналов, а на рис. 1 записи ускорений колебаний грунта (*a*) и чердака (*б*) здания института по поперечным, продольным и вертикальным направлениям. При этом направление регистрации колебаний соответствует продольным и поперечным осям здания. Вертикальные линии на рисунках соответствуют отметке времени:  $\Delta t=0.1$  с.

Таблица 1

Характеристики измерительных каналов инженерно сейсмометрических станций наблюдений

Измерительный канал	№ канала	Место установки	Параметр регистрации	Направление регистрации
ОСП-2М+ГБ-IV	к-1	Грунт	Ускорение	Поперечное
	к-3	Чердак		
	к-4	Чердак		Продольное
	к-6	Грунт		
ОСП-2М+ГБ-IV	к-1	Грунт		Вертикальное
	к-3	Чердак		

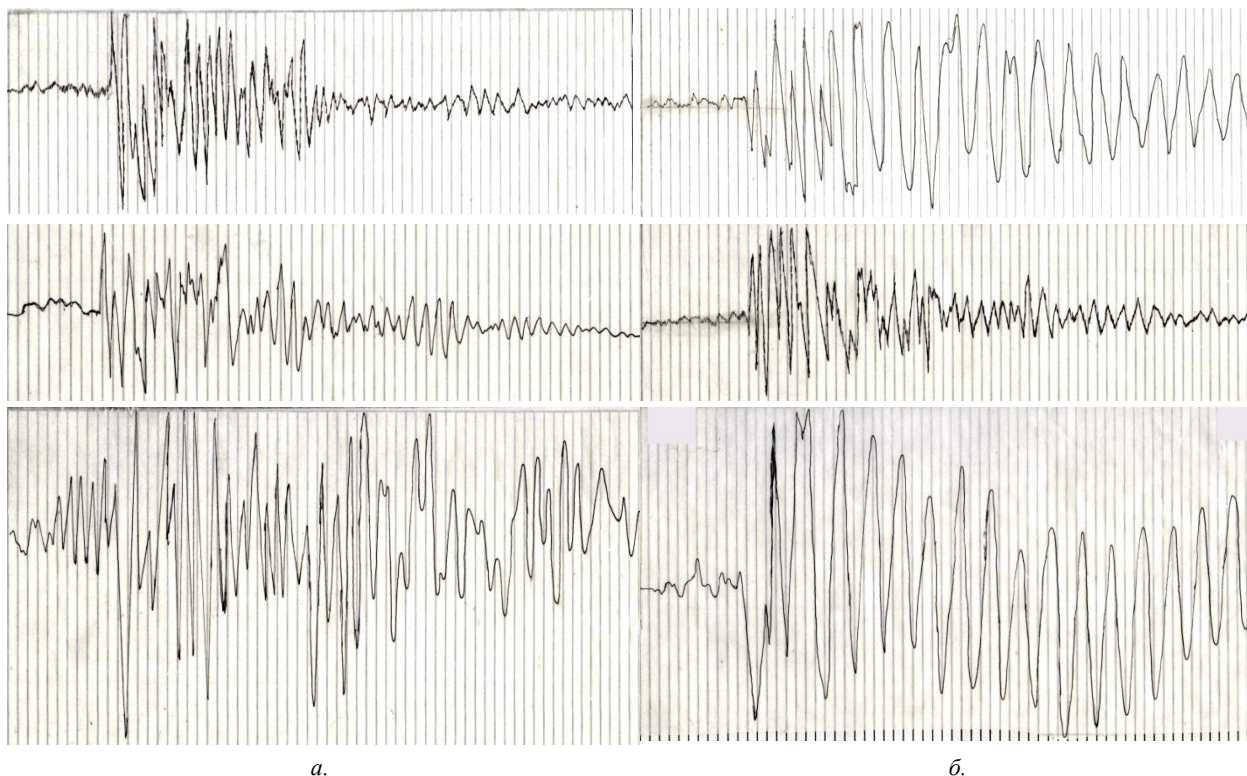


Рис. 1. Записи колебаний грунта и здания института при землетрясении

На основе анализа результатов измерений построены амплитудно-частотные кривые, определены частотные спектры, преобладающие периоды и амплитуды продольных, поперечных и вертикальных перемещений и ускорений колебаний грунтового основания, первого и среднего этажей и чердака здания при землетрясении. В табл. 2 приведены максимальные значения ускоре-

ний колебания грунта и интенсивность колебания в баллах [4], а также максимальные значения ускорения колебаний чердака здания при землетрясении по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Таблица 2

**Максимальные значения колебаний грунта и здания института**

Ускорение колебания грунта	Интенсивность колебания грунта	Ускорение колебания чердака здания
$\ddot{u}_{0y} = 73.2 \text{ см/с}^2$	$I > 6$ баллов	$\ddot{u}_{5y} = 123.3 \text{ см/с}^2$
$\ddot{u}_{0x} = 56.6 \text{ см/с}^2$	$I \approx 6$ баллов	$\ddot{u}_{5x} = 99.5 \text{ см/с}^2$
$\ddot{u}_{0z} = 113.3 \text{ см/с}^2$	$I \approx 7$ баллов	$\ddot{u}_{0z} = 197.9 \text{ см/с}^2$

Инженерно-сейсмометрическая станция наблюдений, расположенная на территории ТашРТПЦ, регистрировала колебания сооружений и их грунтовых оснований при землетрясении двумя осциллографами [3]. Записи перемещений и ускорений колебаний грунта и сооружений ТашРТПЦ получены с помощью различных сейсмических датчиков в измерительных точках: грунт; покрытие технического здания; жесткий диск Телебашни.

В качестве примера в табл. 3 приведены характеристики измерительных каналов, а на рис. 2 – записи ускорений поперечного и продольного колебаний грунта (а), технического здания (б), перемещения колебаний диска жесткости Телебашни на высоте 85м (в). По результатам измерений анализированы амплитудно-частотные характеристики колебаний грунта и сооружений ТашРТПЦ. В табл. 4 приведены максимальные значения ускорений колебания грунта и технического здания, а также максимальные значения перемещения колебания диска жесткости Телебашни при землетрясении.

Таблица 3

**Характеристики измерительных каналов инженерно сейсмометрических станций наблюдений**

Измерительный канал	№ канала	Место установки	Параметр регистрации	Направление регистрации
ОСП-2М+ГБ-IV	к-1	Покрытие	Ускорение	Поперечное
	к-2	Покрытие		Продольное
	к-3	Грунт		Продольное
	к-4	Грунт		Поперечное
ВБП-3+ГБ-III	к-5	Диск жест-и	Продольное	Продольное
	к-6	Диск жест-и		Поперечное

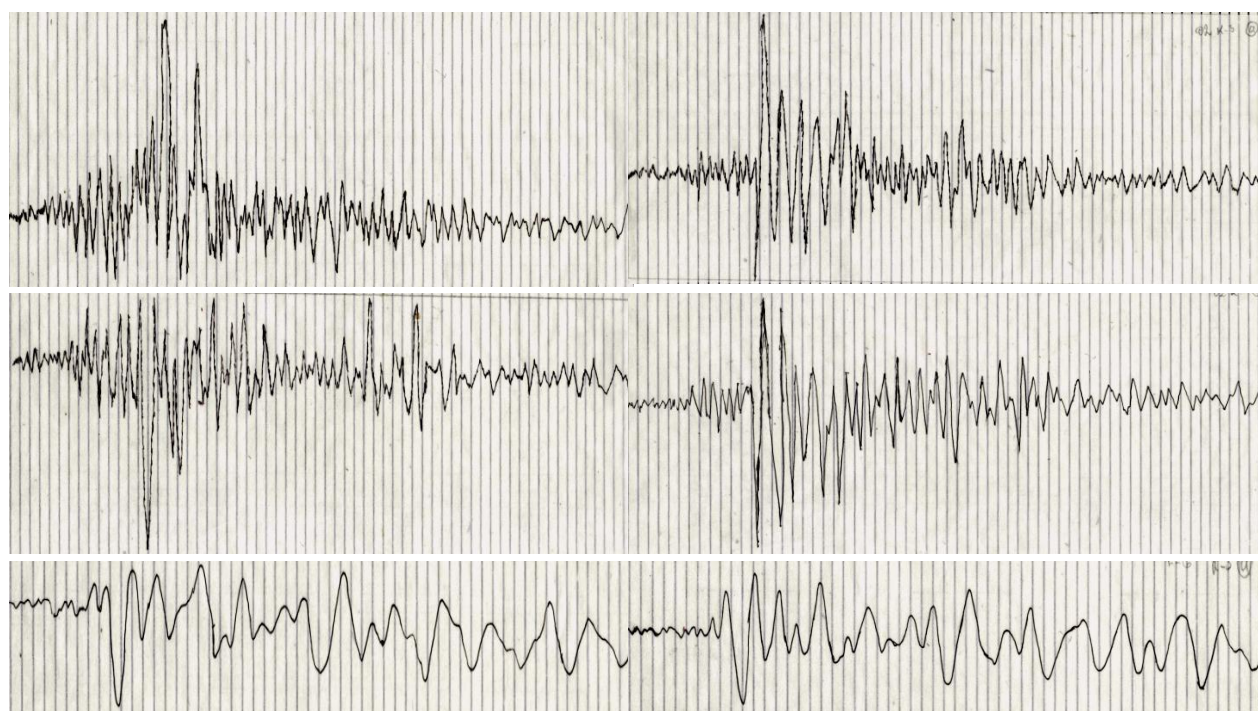


Рис. 2. Записи колебаний грунта и сооружений ТашРТПЦ при землетрясении

Максимальные значения колебаний грунта и сооружений ТашРТПЦ

Ускорение колебания грунта	Ускорение колебания технического здания	Перемещение колебания диска жесткости
$\ddot{u}_{0y} = 42.8 \text{ см/с}^2$	$\ddot{u}_{cy} = 59.7 \text{ см/с}^2$	иду = 1.2 мм
$\ddot{u}_{0x} = 73.6 \text{ см/с}^2$	$\ddot{u}_{cx} = 68.4 \text{ см/с}^2$	идх = 1.3 мм

При визуальном обследовании зданий в Шайхантахурском, Юнусабадском и других районах г. Ташкента после землетрясения 22 августа 2008 г. было установлено, что в основном трещины образовались на верхних этажах по контуру перекрытий и в отдельных случаях в проемах и простенках кирпичных стен. Распространение сейсмической волны по высоте и её отражение от верхнего уровня приводят к таким характерным повреждениям строительных конструкций при землетрясениях.

Анализ полученных данных при землетрясении показывают, что во всех записях вертикальные составляющие параметров колебаний грунта и здания имеют преобладающие значения по сравнению с горизонтальными. Например, значения ускорений в вертикальном направлении в 1.5 раза больше, чем горизонтальные компоненты колебания грунта. Это справедливо только тогда, когда инструментальные измерения производятся в эпицентре землетрясений, так как в этом случае сейсмические волны быстрее достигают поверхности. По мере удаления от эпицентра доля вертикальных компонентов уменьшается.

Интенсивность землетрясения на территориях института и ТашРТПЦ проявилась в пределах 6–7 баллов с учетом грунтовых условий. Результаты измерений колебаний грунта и сооружений при землетрясении могут быть использованы при расчетах зданий и сооружений на сейсмические воздействия.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сагдиев Х.С., Тешабоев З.Р., Галиаскаров В.А. Колебания зданий и их грунтовых оснований при землетрясениях // Проблемы механики. 2015. №3-4. С. 35-38.
- [2] Отчеты по уникальным объектам: «Инженерно-сейсмометрические станции наблюдений». Ташкент: ИМиСС АН РУз, 2008. С. 181.
- [3] Отчеты по хоздоговорам: «Регистрация и оценка воздействия вибрационных волн от движения поездов метрополитена, наземного транспорта и ожидаемых землетрясений на сооружения ТашРТПЦ и их грунтовые основания». Ташкент: ИМиСС АН РУз, 2008. С. 155.
- [4] Шкала для определения интенсивности землетрясения в пределах от 6 до 10 баллов. РСТ Уз 836-97. Госкомархитектстрой. Ташкент, 1997. – 15с.

Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз

Дата поступления  
23.05.2016

**Х.С. Сагдиев, З.Р. Тешабоев, В.А. Галиаскаров. Муҳандислик сейсмометрлик кузатиши станцияси натижаларига асосланиб 2008 йил 22 августдаги ер қимирлашининг иншоотлар ва уларни заминларига таъсирини таҳлили**

Ушбу мақолада ЎзР ФА ИСМИДа ва Тошкент радиотелевизион узатув марказида жойлашган муҳандислик – сейсмометрлик кузатув станцияларида 2008 йил 22 августдаги ер қимирлашида олинган инструментал натижаларни таҳлили келтирилган. Ер қимирлаши вақтида кузатув станцияларида инструментал ўлчовлар натижасида олинган иншоотлар ва уларни заминларини тебранишларини амплитуда - частоталар спектри таҳлил қилинган.

**Kh.S. Sagdiev, Z.R. Teshaboev, V.A. Galiaskarov. Analysis of the Tashkent earthquake impact of 22 August 2008 on construction and ground base on the results of engineering seismometric observing station**

The results of instrumental analysis of the obtained data on engineering seismic observation stations in the earthquake of August 22, 2008 at the facilities - in a building ISS Academy of Sciences of Uzbekistan and Tashkent Broadcasting Center. We analyze amplitude-frequency vibrational spectra of facilities and soil bases on the results of instrumental measurements at monitoring stations in the earthquake.

**СЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ СМЕЖНЫХ ЗДАНИЙ, СОЕДИНЕННЫХ ДЕМПФЕРОМ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУНДАМЕНТА С ГРУНТОМ ПО НАСЛЕДСТВЕННОЙ ТЕОРИИ ВЯЗКОУПРУГОСТИ**

При сейсмическом воздействии здание, имеющее  $n$  этажей, совершает горизонтальные колебания в плоскости наименьшей жесткости. Здание моделируется в виде консоли с сосредоточенными массами на этажах. Учитываются вязкоупругие характеристики самих зданий. Фундамент совершает сдвиг относительно грунта. В системе «здание–здание» совершаются сдвиговые колебания, а в системе «здание–этажерка» – здание – сдвиговые, а этажерка–изгибные колебания (рис.1) [1–3].

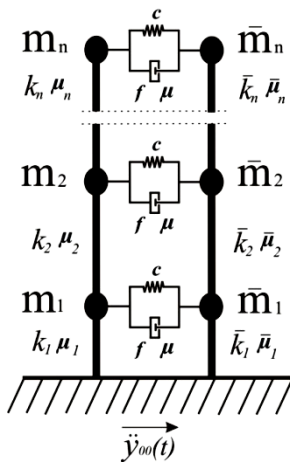


Рис.1. Расчетная схема системы, соединенной демпфером

Уравнение колебаний системы «здание–здание» записывается в виде

$$\left\{ \begin{aligned}
 k_n(y_{n-1} - y_n) - \mu_n \dot{y}_n &= m_n(\ddot{y}_{00} + \ddot{y}_n) \\
 k_{n-1}(y_{n-2} - y_{n-1}) - k_n(y_{n-1} - y_n) - \mu_{n-1}\dot{y}_{n-1} &= m_{n-1}(\ddot{y}_{00} + \ddot{y}_{n-1}) \\
 \dots &\dots \\
 k_1(y_0 - y_1) - k_2(y_1 - y_2) - \mu_1\dot{y}_1 &= m_1(\ddot{y}_{00} + \ddot{y}_1) \\
 -k_1(y_0 - y_1) - R &= m_0(\ddot{y}_{00} + \ddot{y}_0) \\
 \bar{k}_n(\bar{y}_{n-1} - \bar{y}_n) - \bar{\mu}_n\dot{\bar{y}}_n &= \bar{m}_n(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_n) \\
 \bar{k}_{n-1}(\bar{y}_{n-2} - \bar{y}_{n-1}) - \bar{k}_n(\bar{y}_{n-1} - \bar{y}_n) - \bar{\mu}_{n-1}\dot{\bar{y}}_{n-1} &= \bar{m}_{n-1}(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_{n-1}) \\
 \dots &\dots \\
 \bar{k}_1(\bar{y}_0 - \bar{y}_1) - \bar{k}_2(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - \bar{\mu}_1\dot{\bar{y}}_1 &= \bar{m}_1(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_1) \\
 -\bar{k}_1(\bar{y}_0 - \bar{y}_1) - \bar{R} &= \bar{m}_0(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_0)
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

записывается в виде

а для системы “здание – этажерка” уравнение колебаний этажерки

$$\left\{ \begin{aligned}
 \bar{y}_1 - \bar{y}_0 &= -\delta_{11}(\bar{m}_1(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_1) + \bar{\mu}_1\dot{\bar{y}}_1) \dots \dots - \delta_{1n}(\bar{m}_n(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_n) + \bar{\mu}_n\dot{\bar{y}}_n) \\
 \dots &\dots \\
 \bar{y}_n - \bar{y}_0 &= -\delta_{n1}(\bar{m}_1(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_1) + \bar{\mu}_1\dot{\bar{y}}_1) \dots \dots - \delta_{nn}(\bar{m}_n(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_n) + \bar{\mu}_n\dot{\bar{y}}_n) \\
 -\bar{R} &= \bar{m}_0(\ddot{y}_{00} + \ddot{\bar{y}}_0)
 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где  $k_i, \bar{k}_i$  ( $i=1,2,3,\dots,n-1,n$ ) – жесткости этажей на сдвиг;  $y_i, \bar{y}_i$  – прогибы этажей;  $\dot{y}_i, \dot{\bar{y}}_i$  – скорости этажей;  $\ddot{y}_i, \ddot{\bar{y}}_i$  – ускорения этажей;  $m_i, \bar{m}_i$  – массы этажей;  $\delta_{ij}$  – перемещение этажей от единичной силы;  $\mu_i, \bar{\mu}_i$  – коэффициенты вязкости этажей.

В (1) и (2) сила воздействия между фундаментом и грунтом принимается в виде

$$\bar{R} = \int_0^t r(\tau) du(\tau), \quad R = \tau_a S \quad (3)$$

где  $S$  – площадь фундамента, взаимодействующая с грунтом при ее сдвиге;  $\tau_a$  – касательное напряжение в их контакте;  $r(\tau)$  – функция релаксации.

Если для упругого взаимодействия фундамента с грунтом касательное напряжение принять в виде

$$\tau_a = K_x \bar{y}_0 \quad (4)$$

где  $K_x$  – коэффициент сдвига фундамента относительно грунта;  $\bar{y}_0$  – перемещение фундамента относительно грунта, то для вязкоупругого взаимодействия, согласно наследственной теории, из (3) имеем

$$\tau_a = r(0) \left[ \bar{y}_0(t) - \int_0^t \dot{r}(t-\tau) \bar{y}_0(\tau) d\tau \right]. \quad (5)$$

Обозначая скорость ядра релаксации

$$\dot{r}(t-\tau) = -r(0)r(t-\tau), \quad (6)$$

получим

$$\tau_a = r(0) \left[ \bar{y}_0(t) - \int_0^t \Gamma(t-\tau) \bar{y}_0(\tau) d\tau \right]. \quad (7)$$

Так как при  $t \rightarrow 0$  из (7) должно получиться (4), то  $r(0) = K_x$  окончательно для вязкоупругого взаимодействия фундамента с грунтом имеем

$$\tau_a = K_x \left[ \bar{y}_0(t) - \int_0^t \Gamma(t-\tau) \bar{y}_0(\tau) d\tau \right]. \quad (8)$$

Таким образом, подставляя (3) и (8) в (1) и (2), получим уравнения колебаний зданий фундаментом, взаимодействующим с вязкоупругим грунтом по наследственной теории.

В (8) ядра релаксации  $\Gamma(t)$  входят в неявном виде. Обычно они определяются экспериментально. В работе [4] рассматривается сейсмостойкость подземных трубопроводов, взаимодействующих с вязкоупругим грунтом. Приняты различные виды ядер: регулярные, сингулярные, слабосингулярные и др.

Обозначим интегральный член в (8), т.е.

$$F = \int_0^t \Gamma(t-\tau) \bar{y}_0(\tau) d\tau. \quad (9)$$

Тогда сила взаимодействия в (1) и (2) примет вид

$$R = SK_x \bar{y}_0(t) - SK_x F. \quad (10)$$

Пусть ядро релаксации описывается в виде суммы экспонент, т.е.  $\sum_{i=1}^n A_i e^{-\alpha_i t}$

$$\Gamma(t) = -\sum_{i=1}^n A_i \alpha_i e^{-\alpha_i t}. \quad (11)$$

Из (8) с учетом (11) после несложных преобразований получим

$$\ddot{F} - \theta^2 F = \theta^2 \bar{y}_0, \quad \theta^2 = \sum_{i=1}^n A_i \alpha_i e^{-\alpha_i t}. \quad (12)$$

Система (1) и (2) совместно с (12) решена на основе использования стандартного пакета программы Maple. При этом для получения численных результатов значения параметров  $A_i$  и  $\alpha_i$  приняты по данным результатов экспериментальных исследований для суглинка, приведенных в [4], согласно которым  $A_1=0.132$  и  $\alpha_1=20.2$ ,  $A_2=0.215$  и  $\alpha_2=0.61$ ,  $A_3=0.653$  и  $\alpha_3=0.0226$ .

В качестве примера приведены 4-этажные кирпичное и крупнопанельное здания с подвалами. Подсчитанные параметры этих существующих зданий по проектным данным и принятым этажеркам приведены в [5]. Сейсмическое воздействие задано в виде затухающей синусоиды. Их параметры также приведены в [6]. Расчетная схема зданий стандартная, как в нормативном документе – консольная балка с сосредоточенными массами на этажах.

Известно, что ядро релаксации можно описать различными способами [7]. Из них сингулярное ядро более близко описывает релаксационный процесс. При этом релаксационный процесс описывается трехпараметрическим ядром Ржаницына–Колтунова, который имеет вид

$$\Gamma(t) = A e^{-\beta t} t^{\alpha-1}, \quad (13)$$

где  $A$ ,  $\beta$  и  $\alpha$  – параметры ядра, значения которых для взаимодействия тел с различными грунтами приведены в [4].

Ядро релаксации (13) имеет слабую особенность, что можно устранить, согласно [3]. Для этого, подставив (13) в (8) и полагая  $t = \bar{t}$ , как в [8], а также производя в подинтегральном выражении замену переменных для фиксированных  $t_n = (n-1)\tau$  по [3, 8], получим

$$\tau_a = K_x [\bar{y}_0(t) - \frac{A}{\alpha} \int_{t_n}^0 e^{-\beta z^\alpha} \bar{y}_0(t_n - z^\alpha) dz]. \quad (14)$$

В (14) произведены следующие замены:

$$z^{1/\alpha} = t_n - \eta, \quad \eta = t_n - z^{1/\alpha}, \quad d\eta = -\frac{1}{\alpha} z^{\frac{1}{\alpha}-1} dz, \quad \eta = 0 \rightarrow z = t_n^\alpha, \quad \eta = t_n \rightarrow z = 0.$$

Интеграл в (14) вычисляется по квадратурной формуле [8], например

$$\Delta S_k = t_k^\alpha / (k-1); \quad k = \overline{2, n}; \quad \Delta S_1 = t_1^\alpha, \quad S_k = (k-1) \Delta S_k, \quad k = \overline{1, n};$$

$$B_n^b = \Delta S_n / 2, \quad B_1^b = \Delta S_1 / 2, \quad B_j = \Delta S_j; \quad j = \overline{2, n-1};$$

$$P^b(x, t_n) = D_A \left[ (Y - Y_0) - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} [Y(x, t_n - t_k) - Y_0(x, t_n - t_k)] \right], \quad n = 1, \dots$$

На рис.2. приведены результаты расчета, где ядра релаксации приняты в виде (11) и (13).

Как видно из рис.2, демпфер во всех случаях уменьшает перемещение верхних этажей. Учет вязкоупругих свойств взаимодействия фундамента с грунтом приводит к увеличению перемещений этажей для крупнопанельного здания по сравнению с упругим основанием. В этих расчетах принятые виды ядра релаксации на значения результатов отличаются на порядок 5–6%. Аналогичные выводы можно сделать и на основе расчета кирпичного здания. В этом случае влияние демпфера существенно. Уменьшение перемещений верхнего этажа доходит до 30%. Вероятно это можно объяснить тем, что расчетные жесткости кирпичного здания намного меньше, чем у крупнопанельного здания. Сопоставление данных расчета, приведенных в [1,2], где вязкоупругие свойства взаимодействия учитываются на основе моделей Кельвина – Фойгта и Максвелла, с данными данной работы показывают их небольшое отличие. Следовательно можно заключить, что принимаемые виды моделей вязкоупругости в пределах рассмотренных задач, на результаты расчета влияют незначительно.

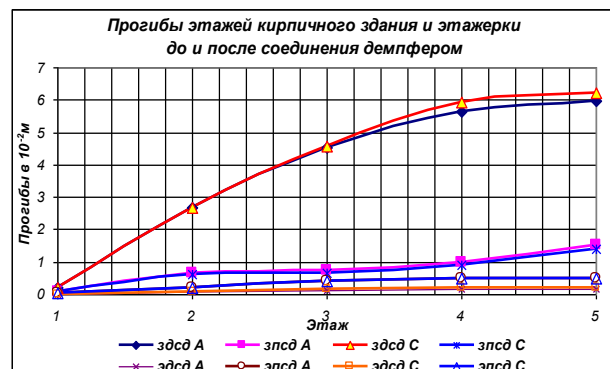
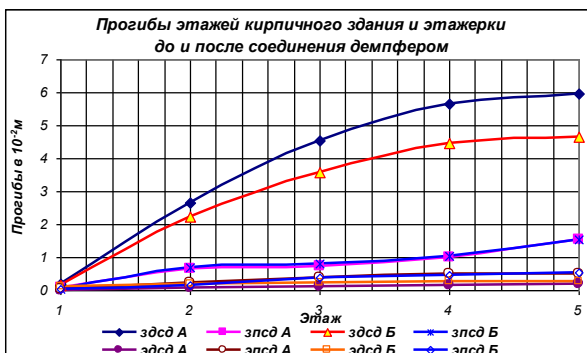
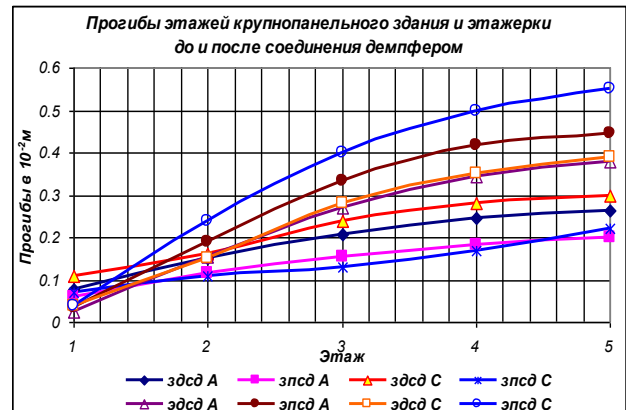
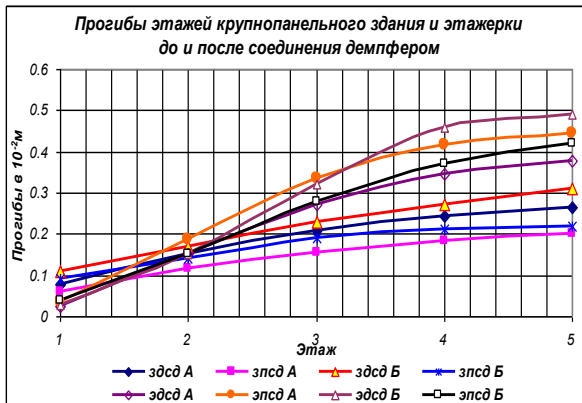




Рис.2. Прогибы этажей смежных зданий: здсд – здание до соединения демпфером; зпсд – здание после соединения демпфером; эздсд – этажерка до соединения демпфером; эпсд – этажерка после соединения демпфером. А – упругое основание, Б – вязкоупругое основание (экспонента), С – трехпараметрическое вязкоупругое основание

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Khojmetov G.H., Khodjimetov A.I., Yuvmitov A.S. Influence of Soil-foundation Interaction Properties on Oscillations of the System “Building-Building” and “Building- Stack-Like Structure // World journal of mechanics. USA. Vol. 5. 2015.
- [2] Khojmetov G.H., Yuvmitov A.S. Stress-strain state of the system «building – stack-like structure», connected with a damper under seismic effect // International scientific journal “Theoretical and Applied Sciences”. Lyon, France, Vol. 25. 2015.
- [3] Бадалов Ф. Б. Методы решения интегральных и интегро-дифференциальных уравнений наследственной теории вязкоупругости. Ташкент: Мехнат, 1987. – 272 с.
- [4] Рашидов Т. Р., Хожметов Г. Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. Ташкент: Фан, 1985. – 152 с.
- [5] Ювмитов А. С. Динамические характеристики сложных систем, соединенные с гасителями // Журнал «Архитектура, курилиш, дизайн». Ташкент: ТАСИ. 2010. № 3. С.43–46.
- [6] Ювмитов А. С. Исследование эффектов гасителей при колебаниях системы «здание–этажерка» // Журнал «Архитектура и строительство Узбекистана». Ташкент: ООО «AI – VAIR», 2011. №6. С.39–40.
- [7] Колтунов М. А. Ползучесть и релаксация. М.: Высшая школа, 1979. – 272 с.
- [8] Маткаримов А. Х. Сейсродинамика подземных трубопроводов при пространственном нагружении с учетом вязкоупругого взаимодействия: Автореф. дис.... канд. техн. наук. Ташкент, 2008.

Ташкентский автомобильно- дорожный институт

Дата поступления  
16.04.2016

*Г.Х. Хожметов, А.С. Ювмитов. Эластик-қовушиқоқлик назарияси асосида пойдевор билан грунт орасидаги ўзаро таъсирни ҳисобга олган ҳолда сўндиргич демпфер конструкцияси билан уланган ёнма-ён биноларнинг тебраниши*

*Ушбу ишда пойдевор билан грунт орасидаги ўзаро таъсир эластик-қовушиқоқлик назариясига бўйсунадиган моделлар ёрдамида кўриб ўтилган. Ҳар хил кўринишдаги релаксация ядролари кўриб ўтилган. Олинган ҳисоб натижалари олдинги ҳар хил кўринишдаги моделлар ҳисоб натижалари билан ўзаро таққосланган.*

*Г.Х. Хожметов, А.С. Ювмитов. Seismic vibrations of adjacent buildings, connected by a damper based on the properties of the foundation with the ground on the hereditary theory of viscoelasticity*

*In this paper, the properties of the foundation with the ground expected to subordinating model hereditary theory of viscoelasticity. Different types of jobs relaxation of the nuclei. These calculation results are compared previously obtained on other models.*

УДК 677.05.02.05.

**С.Х. БАБАДЖАНОВ, М.А. АЛЛАМОВ**

### **СВОЙСТВА ФРИКЦИОННЫХ ПАР РЕМЕШКОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ВЫТЯЖНЫХ ПРИБОРАХ**

При выборе расчетного значения коэффициента трения приходится учитывать влияние на него условий работы конкретного типа вытяжного прибора. Условия протекания процесса трения в реальных парах вытяжных приборов отличаются от условий работы цилиндрических валиков, выполненных из таких же материалов. Наличие на контактной площадке полюса качения приводит к тому, что трение сопровождается верчением контактирующих тел. При этом в различных точках пятна контакта скорости относительного смещения будут разные, а в полюсе качения они равны нулю. В соответствии с этим и коэффициент трения в них будет неодинаков. В этих условиях в расчет должно вводиться некоторое интегральное значение коэффициента трения.

Коэффициент трения не зависит от материала трущихся поверхностей, мало изменяется с изменением контактных напряжений (несколько возрастает с повышением последних). Он снижается с возрастанием скорости относительного скольжения и суммарной скорости качения. На него также влияют качество и состояние контактирующих поверхностей, геометрическая форма валиков и специфические условия, свойственные работе вытяжной пары [1].

Наиболее достоверными могут считаться те значения коэффициента трения, которые получены при испытаниях вытяжного прибора или в условиях, максимально приближенных к условиям работы вытяжной пары. На рис. 1 показана схема взаимодействия пары вытяжного прибора, где в точках  $O_1$  и  $O_2$  вращаются рифленый цилиндр и нажимной валик, обтянутый ремешками из резины. Упругое отеснение ремешков за счет прижатия усилием  $Q$  происходит в результате скольжения ремешков по поверхности пар.

При работе всякой вытяжной пары (см. рис. 1) неизбежно возникает упругое скольжение ремешков. В ремешковых парах вытяжных приборов имеет место и так называемое геометрическое скольжение. Кроме того, при недостаточной силе нажатия появляется общее проскальзывание – буксование [2].

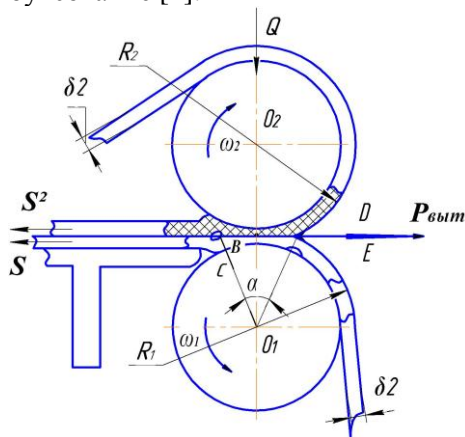


Рис. 1. Взаимодействие пары на вытяжном приборе прядильной машины

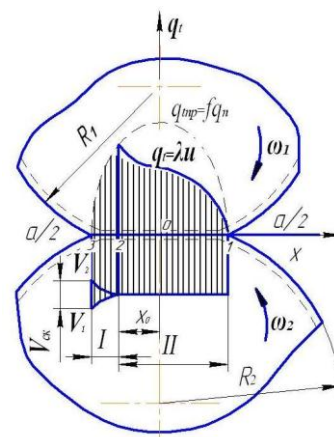


Рис. 2. Скольжение и распределение удельных касательных сил трения по ширине контактной площадки: 1–участок скольжения; 2–участок сцепления

При нормальной работе возможность появления буксования должна быть исключена. Для этого передача должна быть рассчитана с достаточным запасом сцепления, с тем чтобы.

$$F_t < F_r f,$$

где  $F_t$  – сила трения ремешка по ремешку;  $F_r$  – сила трения цилиндра по цилиндру;  $f$  – коэффициент трения.

Упругое скольжение обуславливается упругой деформацией валиков и пары с ремешками в тангенциальном направлении. Под действием силы трения, приложенной в месте контакта, элементы ремешка рифленого цилиндра подходят к контакту растянутыми, а уходят сжатыми (рис. 2). Элементы ремешка ведомого валика подходят к месту контакта сжатыми, а уходят растянутыми. Следовательно, при прохождении по площадке контакта, получающейся при деформации валика, элементы ведомого валика укорачиваются, а элементы ведущего цилиндра удлиняются и обгоняют. В результате между элементами обоих ремешков (валика) возникает упругое скольжение. Это скольжение происходит не по всей ширине площадки контакта, а лишь по ее части.

При входе элементов ремешка в контакт они вначале на участке сцепления 1-2 движутся без скольжения. Однако, согласно теории Р.В.Виравова [3], поверхностные слои здесь испытывают постепенно нарастающие деформации сдвига (предварительные смещения  $u$ ), в результате чего удельная касательная сила

$$q_t = -\lambda u,$$

где  $\lambda$  – коэффициент тангенциальной жесткости тела, определяемый упругими свойствами его материала и условиями нагружения, возрастает от нуля до максимального значения, обусловленного силой трения  $f q_n$ ;  $q_n$  – нормальное давление в точке 2.

После этого на участке 2–3 происходит упругое скольжение, скорость которого изменяется от нуля до максимума в точке 3.

Таким образом, при вращении нажимных валиков цилиндрами касательная сила действует по всей ширине контактной полоски: на участке скольжения – с полной реализацией силы трения, а на участке сцепления – с частичной.

Считаем, что у металлических рифленых цилиндров деформации весьма малы, поэтому такие пары работают практически без упругого скольжения. Учет упругого скольжения актуален

при анализе передач, в которых имеется рабочее тело из эластичного материала, например, валик с резиновым бандажом или с ремешками как на вытяжных приборах ровничных и прядильных машин.

В этом случае становятся ощутимыми тангенциальная деформация такого тела и возникающее в этой связи упругое скольжение фрикционных элементов в зоне контакта.

В работе Р. В. Вирабова [3] приняты следующие допущения: тела совершенно упругие и гладкие, удельные касательные силы подчинены закону трения Амонтона  $q_{mp}=fq$ , коэффициент трения постоянен, упругие процессы, происходящие при качении, рассматриваются статически, площадка контакта плоская, нормальные давления поперек полосы контакта распределяются по параболическому закону, а вдоль – равномерно. При этих допущениях нами получены следующие выражения для определения относительной потери скорости  $\varepsilon$  ведомого звена и координаты  $x_0$  границы участков сцепления и скольжения:

$$\varepsilon = 0.5f \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \left( \frac{a}{2} + x_0 \right), \quad (1)$$

$$x_0 = \frac{a}{2(1 - 2\sqrt[3]{1-\varphi})}, \quad (2)$$

где  $a$  – площадь контакта.

Здесь  $\varphi = \frac{F_t}{fF_n}$  – коэффициент тяги передачи между верхними и нижними ремешками —

величина, обратная запасу сцепления

$$\varphi = \frac{1}{\beta},$$

где  $\beta$  – запас сцепления ремешков на паре, зависящий от коэффициента трения между ремешками и усилия прижатия валиков.

Из формулы (2) следует, что с увеличением ширины контактной полосы, т.е. с уменьшением жесткости взаимодействующих тел, относительная потеря скорости при прочих равных условиях возрастает.

На рис. 3 показана зависимость относительной потери скорости от коэффициента  $\varphi$ . Видно, что с приближением касательной нагрузки  $F_t$  к предельному значению

$$F_{mp} = fF_n.$$

При  $\varphi > 1$  относительная потеря скорости верхних ремешков также достигает некоторого предельного значения  $\varepsilon$ . При этом участок сцепления исчезает, и в пределах всей ширины полосы контакта действуют силы трения скольжения. При  $\varepsilon < \varepsilon_{np}$  только на части ширины полосы контакта происходит скольжение, и передаваемая через контакт суммарная касательная сила представляет собой неполную силу трения.

Касательные напряжения на ремешках зависят от продольного модуля упругости ремней. Так как ремни имеют в составной части каркас армирующих элементов в виде тканей или кордных нитей, удлинение элементов ремешков незначительны. Поэтому тангенциальные напряжения за счет деформации слоя резины толщиной 1 мм воспринимает каркас, и смещение происходит незначительное.

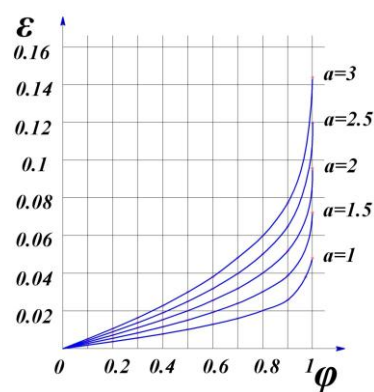


Рис. 3. Зависимость относительной потери скорости от коэффициента тяги  $\varepsilon$

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шукуров М.М., Мусаханов Р.А. Вопросы совершенствования вытяжных приборов машин прядильного производства. Ташкент: УзНИИНТИ, 1991. С. 56.
- [2] Дадаханов Н.К. Разработка устройств для контроля волокон в процессе вытягивания в вытяжных приборах машин прядильного производства. Автореф. дис..... канд. техн. наук. Ташкент, 1997.
- [3] Вирабов Р.В. Тяговые свойства фрикционных передач. М.: Машиностроение, 1982. С. 263.

**С.Х.Бабаджанов, М.А.Алламов. Чўзувчи асбобдаги қайишли жуфтликнинг ишқаланишидаги ишлаш хусусиятлари**

Мақолада йигирув ва тиликлаш машиналарини чўзувчи асбоб жуфтликларида қайишқоқ сирпаниш жараёнини аналитик боғлиқлиги, тасмалар жуфтлиги сирпаниш жараёнининг хусусият ва қонуниятлари кўрилган. Маҳсулотни чўзилишидаги вужудга келадиган, барча сирпаниш ҳолатлари кўриб чиқилган: тасма – цилиндр, маҳсулот ва тасма бир йўналишида бўлганда. Тасма ва маҳсулотнинг сирпаниш математик модули келтирилган. Чўзувчи жуфтлик тасмасининг деформацияланиш қиймати топилган. Турли шароитларда тасмалар сирпанишининг цилиндрга нисбатан ҳисобий қиймати келтирилган.

**S.H. Babadzhanov, M.A. Allamov. The characteristic friction vapour(pair) band, working at drawing mechanism**

The article discusses the analytical dependence of the elastic sliding process in the vapor exhaust devices spinning and roving frames, character and pattern slip process thongs' pairs. We consider all possible cases thongs' sliding pairs by pulling the product: Strap - cylinder product and strap in one direction. We derive a mathematical model of the strap and slip the product. The value of the slip exhausts steam at a strain of the strap. The calculated value of the slip straps relative to the cylinder under different conditions, revealed one of the most important characteristics of friction pairs of exhaust devices, the relative sliding speed of the traction coefficient.

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УЎК 621.01

Р.К. АБДУЛЛАЕВ, А.И. КАРИМОВ, Б.Т. АЛИЕВ

### ПНЕВМОМЕХАНИК ЖИН ИШЧИ ОРГАНИДА ЧИГИТДАН ТОЛАЛАРНИ АЖРАТИШ ЖАРАЁНИНИ СТАТИК ҲИСОБИ.

Пахта тозалаш корхоналарида ҳозирда ишлатилаётган аррали жин ишлаши жараёнида, пахта толасини табиий сифат кўрсаткичларига жиддий механик шикастланиш келтираётгани илмий-амалий тадқиқотларда кўрилиб чиқилган. Бу тадқиқотларда толанинг табиий сифат кўрсаткичлари ҳамда толани аррали жиндан кейинги сифат кўрсаткичлари ушбу 1 - жадвалда таққосланди:

*1-жадвал*

**Толанинг табиий ва аррали жиндан кейинги сифат кўрсаткичлари**

№	Номи	Пахта толасини табиий сифат кўрсаткичлари	Пахта толасини аррали жиндан кейинги сифат кўрсаткичлари	Фарқи
1.	Unf. Узунлик бўйича бир хиллик, %	86.1	83.4	2.7
2.	SFI. Калта толалар индекси, %	2.3	5.2	2.9
3.	Len. Юқори ўртача узунлик, дйюм.	1.21 (36.2 мм)	1.13 (33.8 мм)	0.08 (2.4 мм)
4.	Mis. Микронейр.	4.6	4.7	

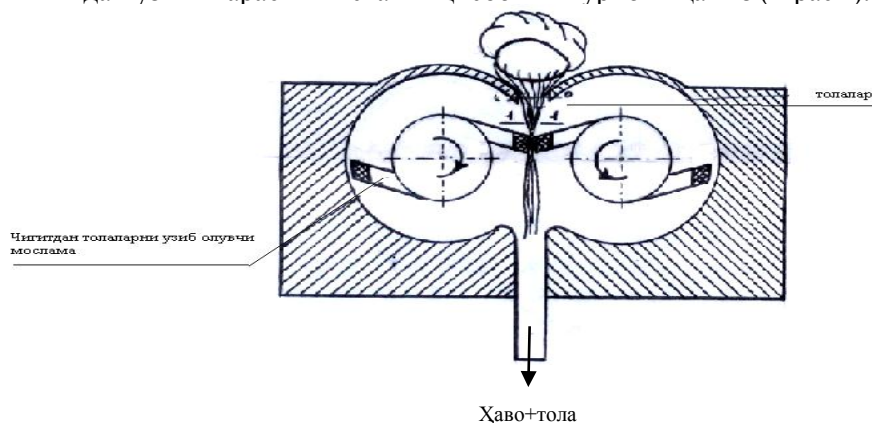
Амалий тадқиқотлар HVI 900 SA инструментал “Наманган сифат” лаборатория тизимида олиб борилди.

Ушбу жадвалда пахта толасининг энг асосий сифат кўрсаткичлари бир неча тажриба натижаларининг ўртача кўринишда берилди. Жадвалдан кўришиб турибдики, аррали жин пахта толасининг табиий узунлигига 2.7 % салбий таъсир кўрсатса, калта толалар фоизини икки маротаба ёки 2.9 % кўпайтириб юбормоқда. Дйюм ўлчови бўйича юқори ўртача узунлик кўрсаткичини эса 1.21 дйюмдан 1.13 дйюмга пасайтирмоқда. Микронейр кўрсаткич эса жинга боғлиқ эмас, яъни толани пишиб етилганлиги ва уни қалинлиги пахта майдонида шаклланадиган кўрсаткич, шунинг учун жадвалдаги 4.6 ва 4.7 микронейр деярли бир-бири тенг ҳисобланиб, улар база кўрсаткичига (3.5-4.9) жавоб беради.

Янги конструкциядаги “Пневмомеханик жин машинаси”ни яратишга айнан мана шу юқоридаги кўрсаткичлар сабаб бўлмоқда. Пахта толаси бўйича амалий-назарий тадқиқотлар олиб борилиши давом этмоқда. Уруғлик ва техик чигитларга ҳам аррали жиннинг салбий таъсири қай даражада бўлаётгани борасида ҳам тадқиқотлар олиб борилмоқда.

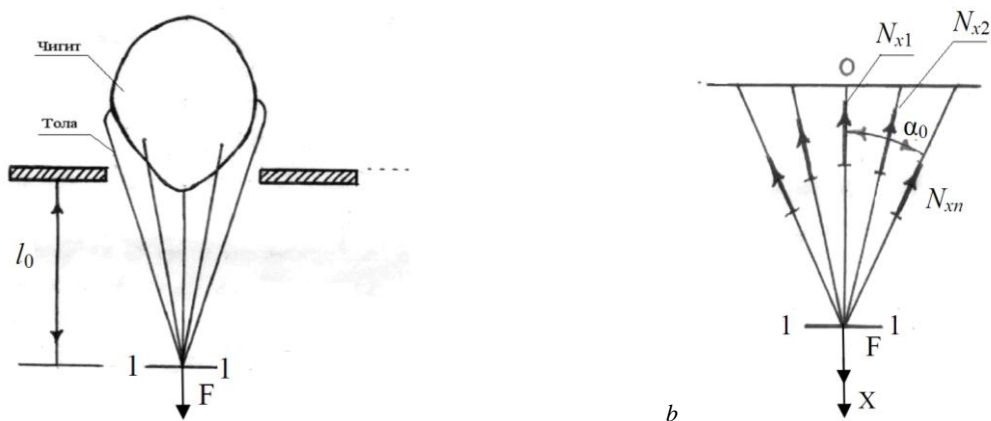
Юқоридаги камчиликларни ҳисобга олиб, муаллифлар томонидан янги конструкциядаги “Пневмомеханик жин машинаси” таклиф этилмоқда.

**Масалани қўйилиши.** Пневмомеханик жин машинасининг битта ишчи органидаги толаларни чигитдан узиш жараёнини статик ҳисобини кўриб чиқамиз (1-расм).



1 - расм. Пневмомеханик жин машинасининг ишчи органи

1-расмдаги қурилмани ҳисоб схемасини қуйидагича қабул қиламиз (2-расм)



2-расм. Пневмомеханик жин машинасини ҳисоб схемаси: *a* – толаларни чигитдан бўйлама куч таъсирида узиш схемаси; *b* – толаларни узунлигини бўйлама куч таъсирида узуш схемаси

Маълумки, битта чигитли пахтада 6000-7000 дона атрофида толалар бўлиб, қурилманинг (1-расм) ҳаво тортиш тирқишидан тахминан чигит контурини тўртдан бир қисми, яъни 1500 дона тола сўрилади. Тола узувчи мосламани узиш нуқтасига (1-1 кесим, 2-расм) мос толалар 1500 дона атрофида тўғри келади. Таҷрибалардан бир дона толани узувчи куч 0.04 Н деб олинса, тенг таъсир этувчи  $R$  – кучни аниқлашни кўриб чиқамиз.

**Масаланинг математик модели.** Умумий узувчи кучни аниқлаш учун қуйидаги ҳисоб схемасини қабул қиламиз (2,*b* расм). Координата ўқи  $OX$ -ни вертикал йўналишда, толаларни симметрия ўқи бўйлаб жойлаштирамиз.  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$  ( $n=1500-1600$ ) –лар толаларни чўзувчи (узувчи) мос бўйлама кучлар бўлсин.  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – толаларни координата ўқи  $-OX$  билан ташкил этган мос бурчаклар бўлсин. Битта толани узувчи бўйлама кучни  $N_0=0.04$  Н деб қабул қиламиз,  $\alpha_0=10$  – тирқишдан ўтувчи толаларни ёйилиш бурчаги бўлсин. Бу ҳолда  $0 \leq \alpha_i \leq \alpha_0$  ( $i = \overline{1, n}$ ) ўзгаради. Толаларга таъсир этувчи ички бўйлама  $N_i$  – кучларни  $OX$ -ўқдаги мос проекциялари:

$$N_{ix} = N_i \cos \alpha_i \quad (1)$$

билан ҳисобланади.

Мослама тирқишидан ўтган толаларни кўндаланг кесимида ҳосил бўлувчи кучларнинг тенг таъсир этувчиси қуйидаги формула билан аниқланади:

$$R_x = 2 \sum_{i=1}^n N_{ix} \quad (2)$$

Агар толаларни узувчи бўйлама ташқи куч –  $F$  деб олинса, статиканинг мувозанат тенгламасидан:

$$F = R_x = 2 \sum_{i=1}^n N_{ix} \quad (3)$$

Барча толаларга таъсир этувчи бўйлама максимал кучларни ўзаро тенг деб олсак:

$$N_0 = N_1 = N_2 = \dots = N_n = 0.04 \text{ Н}$$

У ҳолда умумий узувчи бўйлама куч  $F$  қуйидагича аниқланади:

$$F = 2N_0 \sum_{i=1}^n \cos \alpha_i \quad (4)$$

Тола узунлиги бўйича кўндаланг кесим юзасида ҳосил бўлувчи нормал кучланишни қуйидагича ҳисоблаймиз:

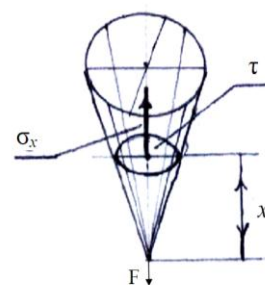
$$\sigma_x = \frac{R_x}{A_x} \quad (5)$$

Бу ерда  $\sigma_x$  – куч (F) қуйилган нуқтадан  $x$  – масофадаги толалар тўпламини кўндаланг кесимида таъсир этувчи нормал кучланиш;  $R_x$  – барча толаларнинг шу кесимдаги бўйлама кучларини тенг таъсир этувчиси;  $A_x$  – текширилаётган кесим юзаси.

$$A_x = \pi * r^2 = \pi x^2 * \cos^2 \alpha_0 \pi \quad (6)$$

Бундан,

$$\sigma_x = \frac{R_x}{\pi x^2 \cos^2 \alpha} \quad (7)$$



3-расм Чигит толаларини узувчи куч F таъсиридаги ҳисоб схемаси

ОХ-ўқ бўйича, ҳар бир томони абсолют деформацияси қуйидагича аниқланади:

$$\Delta l_i = \frac{N_{xi} * x}{\pi x^2 * \cos^2 \alpha_i * E} = \frac{N_{xi}}{E * \pi x * \cos^2 \alpha_i}, \quad (i = \overline{1, n}) \quad (8)$$

бу ерда:  $N_{xi} = 2 N_0 (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2 + \dots - \cos \alpha_i)$ ;

$E = 5270 \frac{H}{mm^2}$  – толаларнинг тажрибалардан аниқланган эластиклик модули;

$$0 \leq X_i \leq l_0 = 10 \text{ мм} .$$

### Натижалар таҳлили:

2-жадвал

Толалар сонига боғлиқ узувчи кучни миқдорини ўзгариши

Тола сони, дона	200	400	600	800	1000	1200	1600
$N_{xi}$ (Н)	8	16	24	32	40	48	56

3-жадвал

Толани узунлиги бўйича бўйлама деформацияни ўзгариши

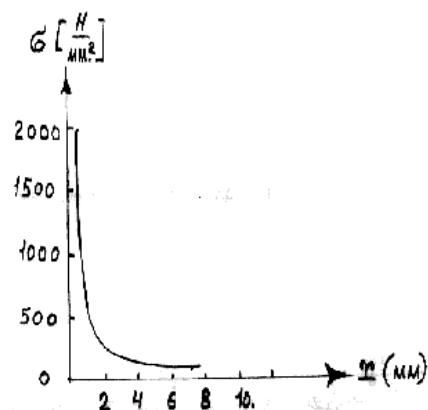
X (мм)	0	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta L$ (мм)	0	0.000054	0.000114	0.000264	0.000361	0.000482	0.000643	0.000885	0.00137

2 – жадвалда ҳар 200 та толага таъсир этувчи бўйлама куч қийматлари келтирилган. Агар толалар сони 200 та бўлса  $N_{200}=8$  Н, толалар сони 1000 та бўлса  $N_{1000}=40$  Н, толалар сони  $N_{1600}=56$ Н бўлади.

3 – жадвалда эса толаларни абсолют бўйлама деформациясини толалар узунлиги  $x$ –бўйича ўзгариш қийматлари келтирилган, масалан:  $x=2$ мм  $\rightarrow \Delta l = 0.000054$  мм;  $x=9$  мм  $\rightarrow \Delta l = 0.00137$  мм бўлиб, мослама толаларни узиш нуқтасида абсолют деформация 0.00137 мм. га етар экан.

4 - расмда толаларни жамламасини кўндаланг кесимида ҳосил бўлувчи нормал кучланиш  $\sigma_x$  ни, толалар узунлиги –  $X$  га боғлиқ ўзгариш графиги келтирилган. Графикдан энг катта максимал нормал кучланиш мослама толаларни узиш кесимида ҳосил бўлишини кўрсатмоқда  $\sigma_{xmax}=2000$ Н/мм<sup>2</sup>. Толаларни асоси чигитга боғланган кесимларида эса нормал кучланиш гиперболик қонуният асосида камайиб нолга интилар экан, бу тажрибалар натижасига мос келади.

Юқоридаги натижалар асосида толани узувчи мосламани берилган радиуси  $r$  – орқали буровчи момент  $M=F_{max} * r$  ҳисоблаб олсак бўлади. Бундан, агар мосламани айлантирувчи двигателъ қуввати маълум бўлса, уни айланиш бурчак тезлиги –  $\omega$  ни қуйидагича аниқлаймиз:



4 - расм. Тола узунлиги бўйича нормал кучланишни ўзгариш графиги

$$\omega = \frac{K}{M_6} = \frac{K}{F_{\max} \cdot r}$$

Бу ерда  $K$  – двигатель куввати.

Аксинча  $\omega$  – маълум бўлса, двигатель кувватини:

$K = \omega \cdot M = F \cdot \omega \cdot r$  орқали ҳисоблаб чиқариш мумкин.

**Текширишлардан қуйидаги хулоса келиб чиқади:**

1. Пахта чигитидан толаларни ажратувчи аэродинамик тола ўзгични узиш кучини, толалар сонига боғлиқ қийматлари аниқланган.

2. Толалар сонига боғлиқ, толаларни узунлиги бўйича абсолют бўйлама деформациялар аниқланган ва нормал кучланишни ўзгариш қонунияти олинган.

3. Тола узгични айланиш бурчак тезлигини ёки айлантирувчи двигатель кувватини аниқлаш ифодалари келтирилган.

#### АДАБИЁТЛАР

- [1] Жаббаров Г.Ж., Балтабаев С.Д., Котов Д.А., Соловьев Н.Д. Первичная обработка хлоп-ка. М.: Изд. «Легкая индустрия», 1978. С. 148–163.
- [2] Методическое пособие. Определение качественных показателей хлопкового волокна на измерительной системе HVI 900 SA. Узбекский центр сертификации хлопкового волокна «Сифат», 2001.

Наманган муҳандислик-технология институти

23.05.2016 й.  
кабул қилинган

**Р.К. Абдуллаев, А.И. Каримов, Б.Т. Алиев. Статические расчеты в процессе отделения хлопкового волокна от семян пневмомеханическим рабочим органом джине**

*В статье изучены статические расчеты в процессе отделения хлопкового волокна от семян нетрадиционным методом. Определены значения, связанные с количеством волокон, прочность разделения волокна аэродинамическим волокноотделителем от семян хлопчатника. Определены абсолютная продольная деформация и изменения в нормальном принципе напряжения по длине волокон.*

**R.K. Abdullaev, A.I. Karimov, B.T. Aliev. Static calculations in the process of separating cotton fibers from the seeds pneumomechanical working body of gin**

*In this article examined static calculation in the process of separating cotton fibers from the seeds of an unconventional method. The values associated with the number of fibers, fiber aerodynamic separation strength gin from cotton seeds. The absolute longitudinal deformation and changes in the normal principle stress along the length of the fibers.*

УДК 677.21.019

#### Ш.М. АЗИЗОВ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ НОВОГО ТИПА КОЛОСНИКОВ ДВУХЦИЛИНДРОВОМ ДЖИНЕ

Колосниковая решетка представляет собой одну из наиболее важных частей рабочей камеры и ее назначением является пропуск пильных дисков через зазоры между колосниками в рабочую камеру и свободный вынос из рабочей камеры волокна, оторванного от семян пильных дисков. В рабочем проходе пил через зазоры между колосниками вместе с волокнами не должны проходить семена. К колосниковым брускам колосники крепят при помощи винтов с головками в по-тай. Таким образом, колосниковая решетка набирается из отдельных колосников, каждый из которых самостоятельно крепят к колосниковым брускам. Такой способ образования колосниковой решетки из-за большого объема пригоночных работ является трудоемким и требует высокой квалификации сборщика. Но индивидуальные колосники оправдали себя в изготовлении и эксплуатации, где необходимо осуществлять быструю замену [1].

Секционная колосниковая решетка состоит из отдельных секций, каждая из которых заме-



няет несколько колосников. При секционном способе образования колосниковой решетки уменьшается объем пригоночных работ, но усложняется их изготовление, а в эксплуатации при выходе из строя даже одного колосника необходимо заменять всю секцию, что повышает стоимость ремонтных работ [1]. Проведенные исследования показали, что чем больше на пильном цилиндре дисков, тем более ускоряется процесс изнашивания колосников. Этому явлению способствуют неравномерные изгибные колебания пильного цилиндра. В результате этого колосники подвергаются негативному воздействию пильных дисков [2].

Так как на колосник со стороны сырцового валика оказывается давление величиной от 30 до 50Н, может произойти поперечное смещение колосников. Такие смещения даже при жестком закреплении колосника к упругому основанию в зависимости от приложенной нагрузки могут достигать 0.130мм [3].

Используя вышеперечисленные данные по изготовлению колосников, а также учитывая изгибные колебания пильных цилиндров и смещения колосников при динамической нагрузке [1–3], мы смоделировали и внедрили новый тип колосников. Новый тип состоит из верхних и нижних колосников с тремя кронштейнами и сжимающими планками с новым видом креплений.



Рис.1. Новая смоделированная разборная экспериментальная колосниковая решетка:  
а – кронштейн с зажимной планкой; б – нижний колосник; в – верхний колосник

На рис. 1 показан трехмерный вид колосниковой решетки и ее составных частей. Преимущество данного колосника заключается в том, что его концы выполнены в виде квадратных стержней, которые плотно входят в пазы кронштейна и крепятся сверху зажимной планкой. Так как пазы и стержень имеют квадратную форму и плотно входят друг в друга, предотвращается смещение колосников, что позволит снизить повреждаемость волокон и семян хлопка-сырца. Ширина колосников составляет 20 мм и смоделирована так, что обеспечивает получение качественного волокна.

Для подтверждения целесообразности внедрения нового смоделированного экспериментального образца колосника мы провели научный эксперимент по смещению колосников, используя метод ученых Ташкентского института текстильной и легкой промышленности для индивидуальных колосников, которые крепятся к брускам при помощи винтов, с головками в потай [3]. Так как наши колосники не крепятся к брускам при помощи винтов, мы отрезали кронштейны и зажимную планку, убрали все верхние и нижние колосники, оставив лишь по одному верхнему и нижнему, и плотно насадили их на квадратные пазы кронштейна, зажали их сверху зажимной планкой, после чего приступили к эксперименту.

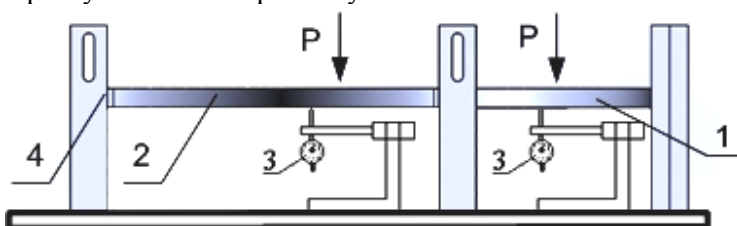


Рис.2. Экспериментальная установка для исследования нового типа колосников на их боковое смещение:  
1–верхний колосник; 2 – нижний колосник; 3 – индикатор; 4 – кронштейн с зажимной планкой

Эксперименты проводились несколько раз. Согласно их результатам (рис. 2), при жесткой посадке колосника на пазы кронштейна и закреплении их планкой случаев поперечного смещения колосника не наблюдается.

Таким образом, внедрение смоделированных новых типов колосников однокамерного двухцилиндрного джина позволит снизить повреждение волокон и семян хлопка-сырца и, как следствие, сохранить сортность волокна и его валютную стоимость на международном рынке, с одной стороны, а с другой – сохранить качество первичного сырья для текстильной промышленности, что непосредственно отразится на качестве текстильной продукции.

Кроме того, снижение числа забоев хлопка-сырца в колосниковой решётке приведёт к уменьшению простоев технологического оборудования, а значит к увеличению производительности джинирования. Все это будет способствовать экономии электроэнергии на приводе пильных джинов, так как забои хлопка-сырца в колосниковой решётке вызывают резкое повышение потребления электроэнергии для преодоления возросших сил сопротивления вращению пильного цилиндра.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мирошниченко Г.И. Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. Укутувчи. Ташкент: 1980.С 387.
- [2] Azizov Sh. M. Axmedhodjaev X.T. Theoretical Analysis of Gin Cylinder for Simulating Dual Saw Cylinder Chamber Gin for Increasing Wear proof, Energy Efficient, Saving Resources. <http://dx.doi.org/10.4236/wjet.2015>.
- [3] Нарматов Э.А., Сафоев А.А., Ражабов И.Я., Аташев М.К. Исследование возможности снижения вынужденных простоев пильного джина // Пахта тозалаш, тўкимачилик ва энгил саноат техника ва технологиялари такомиллаштиришда инновациялари роли. Илмий амалий анжуман материаллари тўплами. Наманган, 2015.

Наманганский инженерно-технологический институт

Дата поступления.  
23.05.2016.

*Ш.М. Азизов. Янги типдаги колосниклар икки цилиндрли джинга моделлаштириш ва тадбиқ этиш*  
*Мақолада динамик куч таъсирида ён томонлама силжишини бартараф этувчи колосникли панжаранинг янги*  
*эскперементаль модели кўриб чиқилган.*

*Sh.M. Azizov. The modelling and introductions of new type kolosniks lattice of the two cylinder of gin.*  
*In article consider the simulated experimental model of a new kolosniks lattice which allows eliminating lateral*  
*Displacement of kolosniks at dynamic loading.*

УДК 621.436

С.М. КАДИРОВ, О.Г. ЭРГАШЕВ

### ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ

**Результаты испытаний на износ топливоподающей аппаратуры (ТПА) дизелей. Испытания с использованием чистого топлива.** Большой интерес для изучения физического процесса трения и износа, а также определения ресурса ТПА представляют исследования прецизионных деталей на чистом топливе при высокой температуре в топливном баке 48–50°C, характерных для условий Узбекистана [1–5].

Согласно методике исследований, до испытаний и после них замерялись характерные размеры прецизионных деталей и профилографировались. Круглограммы рабочих поверхностей новой плунжерной пары (золотниковой части), седла клапана (зоны разгрузочного пояса) и иглы-распылителя (цилиндрической части и конуса  $\alpha = 60^\circ$ ) показывают, что прецизионные детали изготовлены с высоким классом точности и шероховатости поверхностей и отвечают требованиям ГОСТов.

После 500 ч работы прецизионные детали ТПА были подвергнуты тщательному исследованию и анализу. На рис.1 приведена зависимость изменения зазора в плунжерной паре, а также износа втулки и плунжера от продолжительности испытания. Анализ графиков показывает, что в начальный период происходит интенсивное изнашивание плунжерной пары, а через 150 – 200 ч процесс изнашивания практически прекращается. Зазор же при этом стабилизируется на величине 2.2 мкм, т. е. превышает исходный всего на 1 мкм.

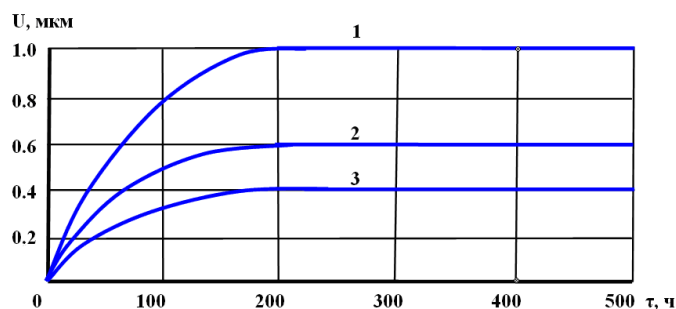


Рис. 1. Изменение зазора в плунжерной паре (1), а также износа плунжера (2) и втулки (3) в функции продолжительности работы ТПА и использовании чистого топлива

В данном случае процесс изнашивания происходит, видимо, за счет притирки плунжера и втулки, так как в топливе отсутствуют абразивные частицы. При этом подвижная деталь (плунжер) изнашивается больше. В научных исследованиях И.А.Мишина представлены данные по износу комплекта плунжерных пар ТПА дизеля Д-54 после 500 ч работы на дважды отфильтрованном топливе. Общий износ их не превышает 0.7 мкм.

Таким образом, результаты наших исследований не противоречат данным других авторов. Несколько большую величину износа, полученную в данных испытаниях, можно объяснить повышенным температурным режимом работы ТПА.

В условиях средней полосы России топливная аппаратура работает без регулировки 2000–3000 ч, а без замены прецизионных деталей – до 6000 ч, что объясняется отсутствием в топливе абразивных частиц, приводящих к интенсивному износу. Следовательно, при надлежащей очистке топлива даже в условиях Средней Азии топливная аппаратура может иметь в 1.5–2 раза больший моторесурс, чем ныне существующий.

Анализ круглограмм рабочих поверхностей плунжерных пар (рис. 2) показал, что при работе на чистом топливе за счет высокого давления и скорости истечения топлива в зазорах имеющиеся огранки и другие признаки доводочных работ исчезают и класс шероховатости поверхности увеличивается (до 0.032 против 0.063 мк).

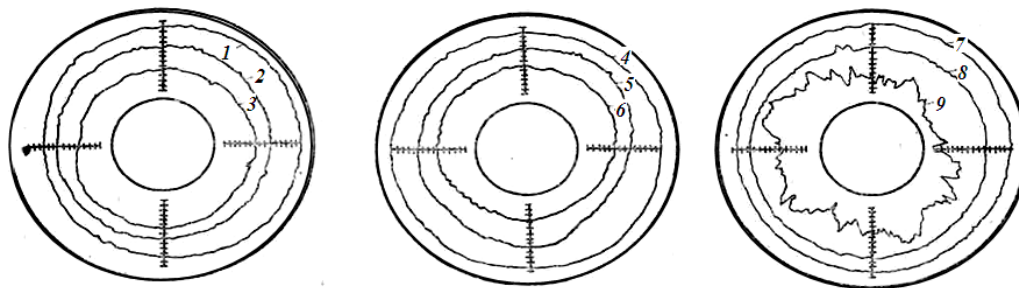


Рис. 2. Круглограммы рабочих поверхностей прецизионных деталей после испытания на чистом дизельном топливе: 1 – втулка; 2, 3 – плунжер; 4 – седло; 5, 6 – разгрузочный поясок нагнетательного клапана; 7, 8 – цилиндрическая часть распылителя и иглы; 9 – конус иглы при  $\alpha = 60^\circ$  (ув. в 10000 раз)

В результате обеспечивается надежная работа ТПА и повышается моторесурс дизеля даже в жарких условиях Средней Азии.

**Испытание с добавлением в топливо абразивных частиц различных размеров.** Проведенные ранее исследования дали противоречивые результаты по поводу наиболее опасной размерной группы абразивных частиц.

Согласно ГОСТу, предусматривается в 1 т топлива 15 г абразива без указания размерной группы частиц. Для оценки влияния фракционного состава абразивных частиц на износ ТПА провели ускоренные износные испытания при введении в топливо абразивных частиц различных размерных групп (кварцевая пыль, с удельной поверхностью  $S = 10500 \text{ см}^2/\text{г}$ ) с узким интервалом.

**Испытание на износ деталей плунжерной пары.** На рис. 3 представлены графики изменения зазора в плунжерной паре в функции времени и работы насоса при добавлении в топливо различных размерных групп абразивов.

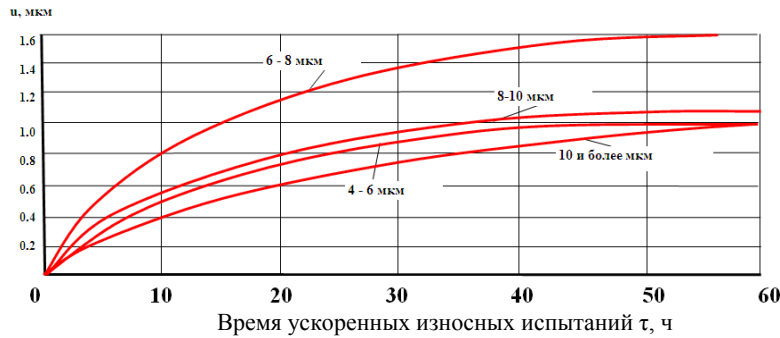


Рис. 3. Влияние размера абразивных частиц на износ плунжерной пары

На рис.4 представлены круглограммы рабочих поверхностей плунжерных пар.

При добавлении в топливо абразивов размером 6–8 мкм процесс падения гидравлической плотности и изменения зазора плунжерной пары происходит более интенсивно по сравнению с предыдущей размерной группой и зазор за тот же период испытаний достигает 2. мкм. При этом гидравлическая плотность снижается на 55% по сравнению с исходной (с 45 до 20 с). Для подтверждения влияния абразива размером 6–8 мкм на износ рабочих поверхностей плунжерных пар представлены их круглограммы (рис. 4, б), на которых можно проследить за процессом разрушения, характеризующегося интенсивным абразивным изнашиванием.

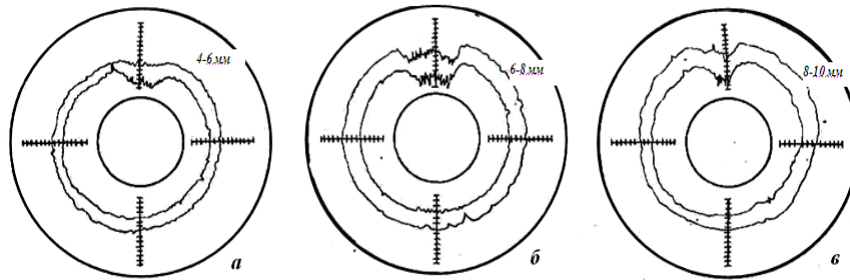


Рис. 4. Круглограммы рабочих поверхностей плунжера после испытания

Чтобы выяснить влияние величины исходного зазора плунжерных пар на размер абразива с точки зрения наибольшего износа, провели исследования с деталями, гидравлическая плотность которых была понижена ( $\tau = 20-25$  с), а исходный зазор увеличен (1.8 вместо 1.2 мкм). Установлено, что при увеличении исходного зазора опасная размерная группа абразива возрастает, достигая 8–10 мкм. Это явление объясняется так же, как и в предыдущем случае (для группы 6–8 мкм) (рис.5).

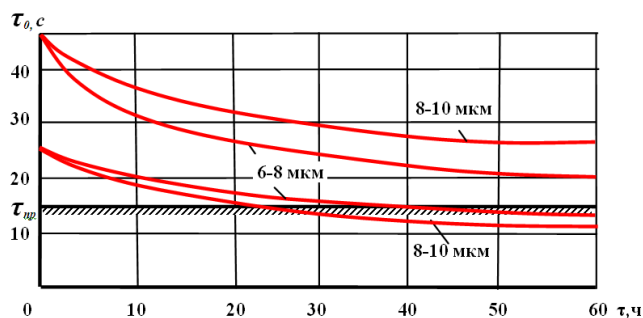


Рис. 5. Изменение гидравлической плотности плунжерных пар различной исходной гидроплотности при введении в топливо абразивов различной размерной группы

После 20–25 мч работы ТПА гидравлическая плотность плунжерных пар становится ниже допустимой и параметры впрыска ухудшаются. Этот факт подтверждает, что для условий жаркого климата и высокой запыленности воздуха ТПА дизелей должна комплектоваться плунжерными парами высокой гидравлической плотности или обеспечиваться надлежащей фильтрацией топлива. Только в этом случае можно обеспечить необходимый моторесурс.

**Испытание на износ нагнетательных клапанов и распылительных пар** производилось также с помощью снятия круглограмм и электронного микрофотографирования. Как и в преды-

дущем случае, испытания проводились со следующими группами абразивов: 4–6; 6–8; 8–10 и более 10 мкм.

Таким образом, для нагнетательного клапана и иглы-распылителя абразивные частицы размером 8 мкм наиболее опасны, так как при подъеме и опускании нагнетательного клапана и иглы (нижняя цилиндрическая часть и конус) оказавшиеся в зазоре частицы начинают разрушать рабочую поверхность.

В результате испытаний прецизионных деталей ТПА дизелей при введении в топливо абразивных частиц различных размерных групп, а также в условиях высокой температуры установлено, что наиболее опасными для плунжерной пары являются частицы размером 6–8 мкм, а для нагнетательной и распылительной пары – 8 мкм и более.

Полученные результаты могут служить основой для создания более качественных фильтрующих элементов, разработки более эффективного ТО и повышения моторесурса ТПА дизелей и самих двигателей.

**Испытание с добавлением в топливо абразивных частиц в различных концентрациях от 15 до 150 г/т, при неизменности их размерной группы 6–8 мкм.** На рис.6 представлены графики изменения зазоров между плунжером и втулкой.

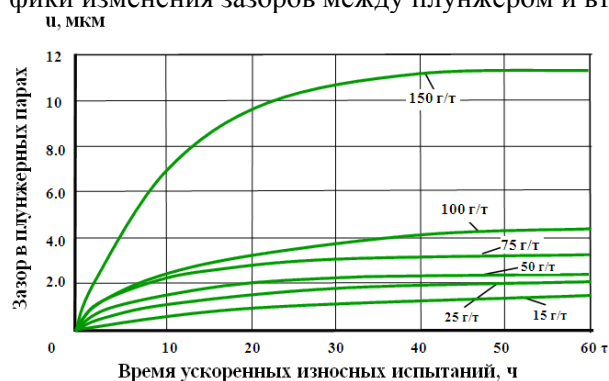


Рис. 6. Влияние концентрации абразивных частиц на износ плунжерной пары

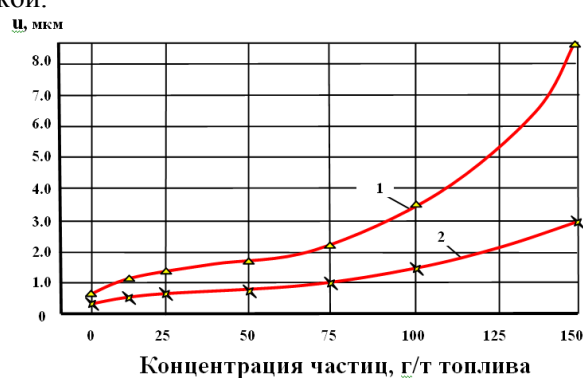


Рис. 7. Зависимость износа плунжера (1) и втулки (2) от концентрации абразивных частиц

Анализ круглограмм золотниковой части плунжера показал, что геометрия и шероховатость рабочей поверхности детали значительно изменились. При добавлении 100 г абразива на 1 т топлива процесс износа плунжерных пар протекает более интенсивно.

На рис.7 приведены итоговые результаты обработки данных по износам плунжера и втулки при введении в топливо абразивных частиц различной концентрации. Подобное же мнение высказано в исследованиях Н. И. Бахтиярова, В. В. Антипова и др.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что при работе со средой, в которой находятся абразивные частицы, движущиеся детали (плунжер, клапан) подвергаются большему износу, чем закрепленные (втулка, седло). Однако до настоящего времени не было выявлено, в какой из сопряженных деталей закрепляются абразивные частицы. Электронные микрофотографии позволили выявить это.

Анализ круглограмм позволяет сделать вывод о том, что интенсивность изнашивания рабочих поверхностей прецизионных деталей ТПА зависит от следующих эксплуатационных факторов:

- формы и размера абразивных частиц;
- режима работы ТПА;
- концентрации абразивных частиц;
- температурных условий.

Результаты ускоренных испытаний показали, что нельзя допускать попадания вместе с топливом к прецизионным деталям частиц размером 6–8 мкм и более. Концентрация же абразивных частиц не должна превышать 50 г/т топлива.

По результатам износных испытаний приблизительно можно оценить ресурс насосной секции ТПА следующим образом:

$$T_i = \frac{\lg \tau_0 \lg \tau_{пред}}{\lg \tau_0 \lg \tau_i},$$

где  $\tau_0$ ,  $\tau_i$  и  $\tau_{пред}$  – величины гидроплотностей в начале, в конце испытаний и предельно допустимой.

Оценка ресурса насосной секции при введении в топливо абразивов размером 6–8 мкм, при которых происходит наибольшее изменение гидравлической плотности, показывает, что  $T=81$  ч. Это свидетельствует о том, что ресурс ТПА для данной группы абразивных частиц и концентрации 15 г/т (при  $\tau_0=45$  с) может составить 8100 мч даже для высоких температурных условий.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Қодиров С.М. Мухамеджонов Ш.Ш. Двигателларнинг юқори ресурси. Уни қандай таъминлаш мумкин? // Тошкент: МЧЖ “RELIABLE PRINT”. 2011.
- [2] [www.ZioyoNet.uz](http://www.ZioyoNet.uz).
- [3] [www.rtsh.ru](http://www.rtsh.ru).
- [4] [dizelist.ru](http://dizelist.ru).
- [5] <https://ru.wikipedia.org>.

Ташкентский автомобильно- дорожный институт

Дата поступления  
23.05.2016

*С.М. Кадиров, О.Г. Эргашев. Дизель аппаратураларини ёқилги деталларини мустаҳкамлигини баҳолаш*  
*Мақолада дизель аппаратураларини ёқилги деталларини ёйилишига мустаҳкамлиги текшириб баҳоланган ва*  
*текшириши натижалари келтирилган.*

*S.M. Kadirov, O.G. Ergashev. Evaluation of durability of details of diesel fuel supply equipment*  
*The paper evaluated the durability of diesel fuel supply parts and equipment shows the test results for wear.*

УДК 629.113

**О.К. КАСИМОВ, У.Х. ТАШПУЛАТОВ, Х.Ф. АКМАЛОВ**

### **СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕС АВТОМОБИЛЯ С ДОРОГОЙ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ**

При торможении автомобиля в контакте каждого колеса с дорогой учитывается три силы: тормозная сила, сила сопротивления боковому уводу и нормальная реакция дороги. Тормозная сила на  $i$ -м колесе, лежащая в плоскости дороги, приложена в точке контакта и направлена в противоположную сторону его качения [1]. Величины тормозных сил определяются по следующему выражению:

$$P_i = P_{Tmaxi} \cdot K_{oi}^{pez} (1 - e^{-\alpha_i(t-t_i)}) \cdot F_{oi}, \quad (1)$$

где  $P_{Tmaxi}$  – максимальная тормозная сила на  $i$ -м колесе при нормативном усилии на органе управления;  $\alpha_i$  – коэффициент интенсивности роста приводного усилия, определяемый экспериментально;  $t_i$  – время запаздывания тормозной силы на  $i$ -м колесе;  $F_{oi}$  – ступенчатая функция, учитывающая запаздывание тормозного привода;  $K_{oi}^{pez}$  – коэффициент, учитывающий наличие в приводе регулятора тормозных сил и зависящий от его характеристики.

Сила сопротивления боковому уводу, лежащая в плоскости дороги и направленная перпендикулярно плоскости колеса, определяется из уравнения

$$N_i = q_{zi} \cdot q_{Ti} \cdot q_{\phi i} \cdot K_{yoz i} \cdot \delta_i, \quad (2)$$

где  $q_{zi}$  – коэффициент, учитывающий влияние нормальной нагрузки на колесо;  $q_{Ti}$  – коэффициент, учитывающий влияние тормозной силы на увод;  $q_{\phi i}$  – коэффициент, учитывающий влияние сцепления колеса с дорогой на его увод;  $K_{yoz i}$  – экстремальное значение коэффициента сопротивления боковому уводу;  $\delta_i$  – угол увода  $i$ -го колеса.

Частные коэффициенты коррекции [2], учитывающие различные условия работы эластичного колеса, вычислялись следующим образом:

$$q_{zi} = 1 + 0.4 \cdot \Delta z_i^3 - 0.6 \cdot \Delta z_i^2 - 0.1 \cdot \Delta z_i - 0.1 \cdot \Delta z_i \cdot \sin \Delta z_i, \quad (3)$$

Здесь

$$\Delta z_i = \frac{z_i + z_{zi}}{z_{zi}},$$

где  $z_i, z_{zi}$  – соответственно текущее значение нормальной нагрузки на колесо и величина, при которой коэффициент увода принимает экстремальное значение.

$$q_{\pi} = \sqrt{1 - \left(\frac{P_i}{\varphi \cdot z}\right)^2}, \quad (4)$$

$$q_{\varphi i} = \begin{cases} \frac{\text{arctg} \Delta i}{\Delta i}; & |\delta_i| > 0.026 \\ 1; & |\delta_i| \leq 0.026 \end{cases}, \quad (5)$$

где

$$\Delta i = \frac{q_z \cdot K_{\text{уов}} \cdot \pi (|\delta_i| - 0.026)}{2\varphi \cdot z_i}$$

Угол увода колеса, т. е. угол между вектором скорости центра  $i$ -го колеса и плоскостью его обода [3], определяется из выражений

– для колес передней оси:  $\delta_{1,n} = \text{arctg} \left( \frac{\eta_i}{\xi_i} \right) - \theta,$

– для колес задней оси:  $\delta_{2,n} = \text{arctg} \left( \frac{\eta_i}{\xi_i} \right),$

где  $\eta_i, \xi_i$  – проекции вектора скорости центра колеса на оси подвижной системы координат. Угол увода принимается положительным, если боковая составляющая скорости центра колеса направлена от мгновенного центра скоростей, и отрицательным – в противоположном случае.

При скольжении колеса по опорной поверхности (рис.1) величина тормозной силы, создаваемой тормозным механизмом, становится избыточной и в контакте колеса с дорогой действует сила, проекции которой на подвижные оси  $\Phi_{\xi i}$  и  $\Phi_{\eta i}$  определяются по формулам

$$\Phi_{\xi i} = \frac{\xi_i}{\sqrt{\xi_i^2 + \eta_i^2}} \cdot \mu \cdot \varphi \cdot z_{i0}, \quad (6)$$

$$\Phi_{\eta i} = \frac{\eta_i}{\sqrt{\xi_i^2 + \eta_i^2}} \cdot \mu \cdot \varphi \cdot z_{i0}, \quad (7)$$

где  $\mu \approx 0.8 - 0.85$  – коэффициент, учитывающий снижение коэффициента сцепления при скольжении.

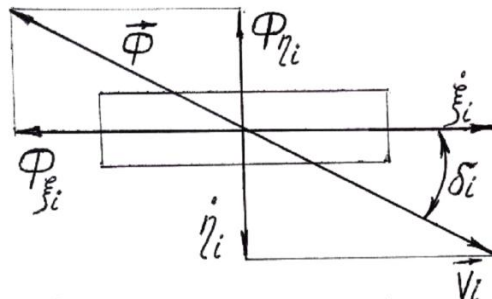


Рис.1. Составляющие тормозной силы, действующей в плоскости контакта колеса с дорогой при скольжении

При достижении тормозной силы, равной предельной силе трения покоя, т.е.

$$P_{Ti} = \sqrt{(z_i \cdot \varphi)^2 - N_i^2}, \quad (8)$$

силы, действующие в контакте колеса с дорогой, вычисляются по вышеуказанным формулам.

Для перехода от скольжения к качению служит условие

$$P_{Ti} < \sqrt{(z_i \cdot \mu \cdot \varphi)^2 - N_i^2}. \quad (9)$$

Проекции вектора скорости центра  $i$ -го колеса на оси подвижной системы координат находятся как суммы соответствующих проекции скорости центра масс и относительной скорости:

$$\xi_i = \xi_c + \psi_p \cdot r_i \cdot \cos \beta_i \quad (10)$$

$$\eta_i = \eta_c + \psi_p \cdot r_i \cdot \sin \beta_i \quad (11)$$

– для передних колес:  $r = \sqrt{a^2 + \frac{K^2}{4}} \quad \beta = \arctg \frac{K}{2a},$

– для задних колес:  $r = \sqrt{b^2 + \frac{K^2}{4}} \quad \beta = \arctg \frac{K}{2b}.$

Нормальные реакции, действующие в контакте колеса с дорогой, при равномерном движении автомобиля определяются его массой, степенью загрузки и способом ее распределения. При торможении автомобиля происходит перераспределение нормальных реакций на колесах, обусловленное центробежной силой и силами, действующими в плоскости опорной поверхности (рис.2). Их величину можно определить из следующих выражений:

– для колес передней оси:

$$z_{1(n)} = \frac{K \cdot m \cdot (g \cdot b + h \cdot \xi + \psi_p \cdot \xi) \mp m \cdot \xi \cdot \psi_p \cdot b}{L \cdot K}, \quad (12)$$

– для колес задней оси:

$$z_{2(n)} = \frac{K \cdot m \cdot (g \cdot a + h \cdot \xi + \psi_p \cdot \xi) \pm m \cdot \xi \cdot \psi_p \cdot a}{L \cdot K}. \quad (13)$$

Знак "+" в формулах соответствует внутренним, относительно мгновенного центра скоростей колесам, а "-" – наружным.

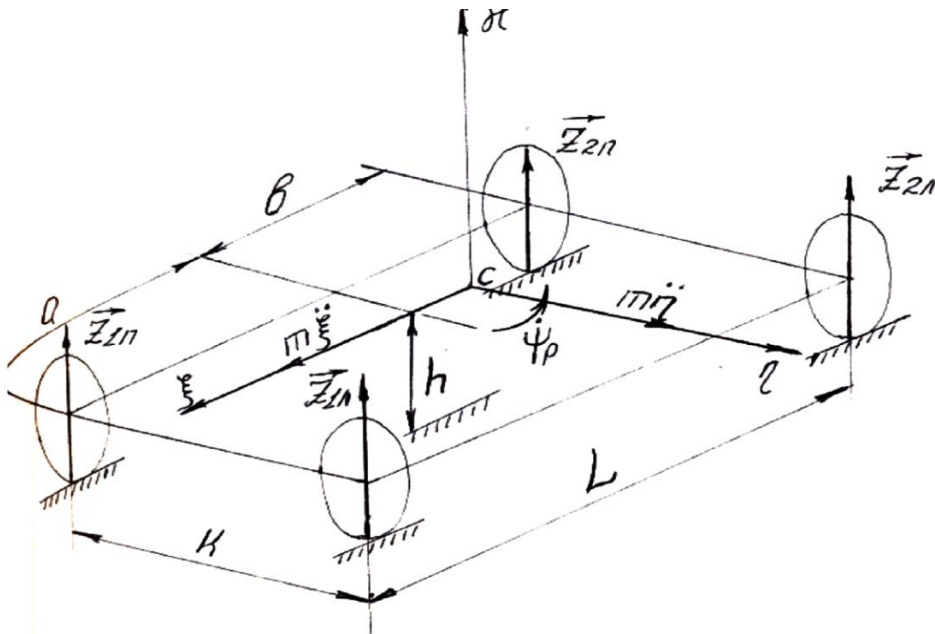


Рис.2. Схема для определения нормальных реакций на колесах автомобиля

Углы кинематического разворота управляемых колес находятся из уравнения

$$J_c \cdot \theta_k = M_c + M_\lambda + M_{pk} + M_{Tc}, \quad (14)$$

где  $J_c$  – приведенный момент инерции управляемых колес автомобиля и деталей рулевого управления относительно оси поворота колеса;  $M_c$  – момент, обусловленный качением шины с уводом и продольным наклоном оси поворота колеса;  $M_\lambda$  – приведенный момент вязкого трения;  $M_{pk}$  – при-



веденный момент упругости рулевого управления;  $M_{Tc}$  – момент, обусловленный разностью тормозных сил на управляемых колесах.

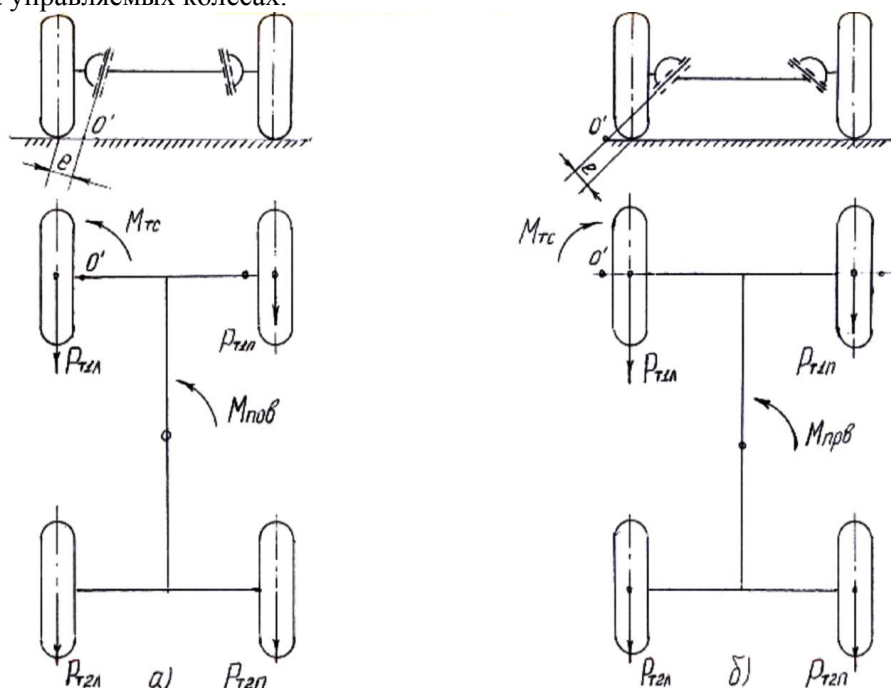


Рис.3.Схема действия моментов  $M_{пов}$  и  $M_{Tc}$  при положительном (а) и отрицательном (б) плечах обкатки

При торможении с зафиксированным рулевым управлением ( $\theta_k=0$ ) угол поворота рулевого колеса и его производная принимаются равными нулю, поэтому моменты трения и упругости рулевого управления можно не учитывать.

Момент от действия боковых сил и продольного наклона оси поворота колеса

$$M_c = N_1 \cdot r_k \cdot \sin \beta, \quad (15)$$

где  $\beta$  – угол продольного наклона оси поворота колеса;  $r$  – радиус качения колеса.

Момент, обусловленный разностью тормозных сил, равен

$$M_{Tc} = (P_{Tл} - P_{Tп}) \cdot e, \quad (16)$$

где  $e$  – плечо обкатки колеса.

Как видно из рис.3, при отрицательном плече обкатки (автомобили Ласетти, Нексия, Матиз) момент  $M_{Tc}$ , вызванный неравномерностью тормозных сил на передней оси, несколько компенсируется за счет разнонаправленности  $M_{Tc}$  и автомобиль сохраняет устойчивость при более значительной разнице тормозных сил на передней оси.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Топалиди В.А., Касимов О.К. Имитационная модель процесса торможения легкового автомобиля. Ташкент: ТАДИ, 1996.
- [2] Иванов А.М. и др. Автомобили. Теория эксплуатационных свойств. М.: Академия, 2013.
- [3] Вахламов В.К. Техника автомобильного транспорта. Подвижной состав и эксплуатационные свойства. М.: Академия, 2005.

Ташкентский автомобильно- дорожный институт

Дата поступления  
05.04.2016

**О.К. Касимов, У.Х. Ташпулатов, Х.Ф. Акмалов. Тормозланишда автомобил гилдираги билан йўл орасида таъсир этувчи кучлар**

*Мақолада автомобил гилдираги билан йўл орасида таъсир этувчи кучларнинг (тормоз кучи, ёки сирпанишга қаршилик кучи ва нормал реакция кучи) тормозланишда автомобил турғунлигига таъсири кўрилган.*

**O.K. Kasimov, U.H. Tashpulatov, H.F. Akmalov. Interaction forces between the wheel and the road in braking**

*The article considers interaction forces between the wheel and the road (braking force, lateral take away resistance force and road normal reaction) influencing to the automobile stability in braking.*

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ НОРМАЛИЗАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ И АБРАЗИВНУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛИ

Нами изучено влияние предварительной нормализации температуры на прочность тонкой структуры и абразивную износостойкость стали [1, 2]. Выявлена корреляционная зависимость между плотностью дислокации и величиной износа стали.

Проведенными нами исследованиями была установлена возможность значительного повышения абразивной износостойкости стали в зависимости от оптимальных режимов термической обработки. Повышение температуры закалки до определенного значения либо двойная закалка с фазовой перекристаллизацией стали 35, 45, 40X и 30XГТ приводили к изменению структурных характеристик и величины износа при трении о закрепленные абразивные частицы.

Термическая обработка предварительно отожженных образцов заключалась в нагреве при 870, 900, 1000, 1100, 1150, 1200, 1260 °С и охлаждении на воздухе. Нагрев образцов для отжига и нормализации осуществляли в вакууме. Время аустенизации – 20 мин.

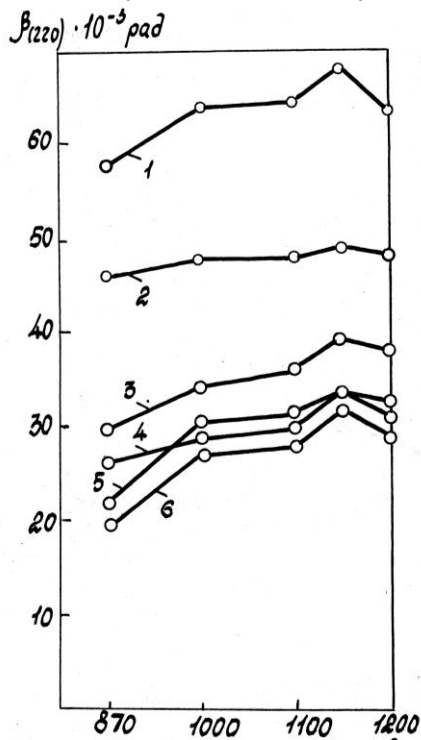


Рис. 1. Изменение физической ширины рентгеновской линии (220) в зависимости от температуры предварительной закалки и промежуточного отпуска

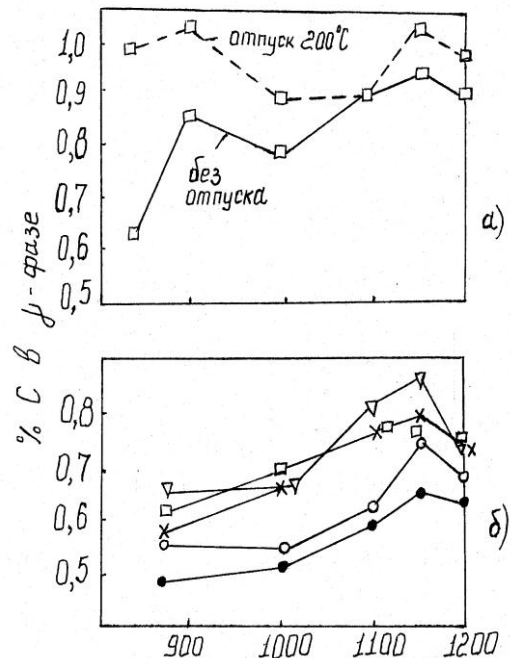


Рис. 2. Изменение содержания количества углерода в аустените в зависимости от температуры предварительной закалки и промежуточного отпуска

Рентгеноструктурные исследования образцов после фазовой перекристаллизации показали изменение физической ширины рентгеновской линии (220) с повышением температуры предварительной нормализации с максимумом при 1150 °С (рис.1).

Предварительно нормализованную от различных температур сталь подвергали повторному нагреву для закалки с фазовой перекристаллизацией при температуре на 30 – 50 °С выше  $A_{c3}$  для каждой марки стали. Для предотвращения окисления и обезуглероживания нагрев осуществляли в свинцовой ванне. Время аустенизации – 20 мин.

Испытание на износ проводили на установке Х4-Б по методике [3]. О дефектности кристаллического строения в альфа - фазе судили по изменению физической ширины рентгеновской линии (220) по сравнению с эталоном.

После закалки образцы подготовленной из указанных марок стали имели структуру мартенсита с различной плоскостью дефектов кристаллического строения и в пределах каждой марки стали примерно равную твердость, а также одинаковое количество остаточного аустенита (рис. 2).

Окончательный отпуск образцов проводили при температуре 200, 350, 600°C. После закалки образцы подготовленной из указанных марок стали имели структуру мартенсита с различной плоскостью дефектов кристаллического строения и в пределах каждой марки стали примерно равную твердость, а также одинаковое количество. Повторная закалка с температуры  $A_{c3}+30-50^{\circ}C$  предварительно перегретой стали обеспечивает значительное измельчение аустенитного зерна по сравнению со стандартной закалкой (рис.3). Это объясняется тем, что с повышением температуры нагрева увеличивается растворимость углерода и других примесей в аустените, в результате чего достигается более полная его гомогенизация.

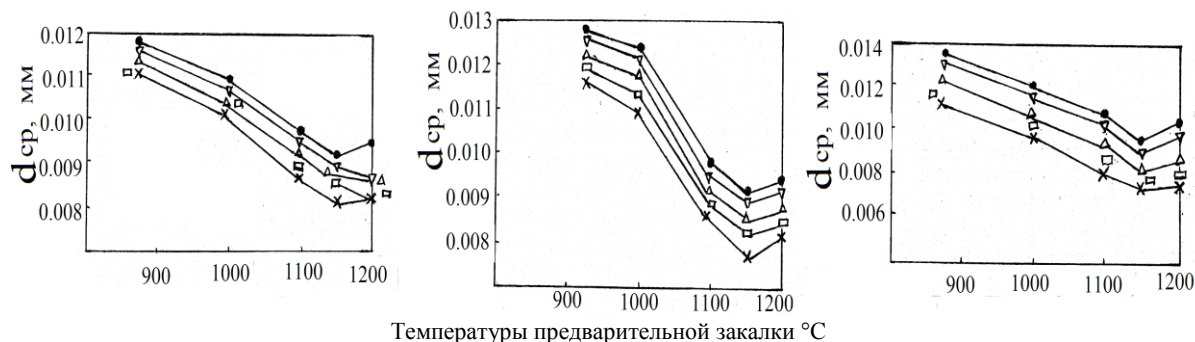


Рис. 3. Изменение среднего диаметра аустенитного зерна в зависимости от температуры предварительной закалки и промежуточного отпуска

Известно [4], что чем выше степень переохлаждения аустенита, тем больше степень его раздробления при охлаждении.

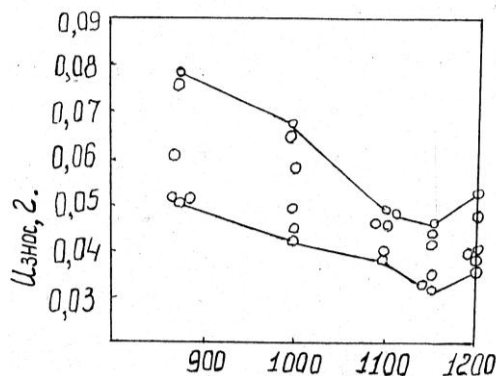


Рис. 4. Изменение величины абразивного износа стали в зависимости от температуры предварительной закалки и промежуточного отпуска

Испытание образцов на абразивный износ показало, что существует определенная связь между плотностью дефектов кристаллической решетки и величиной абразивного износа исследованной стали (рис. 4). Таким образом, исходная высокотемпературная нормализация, как предварительная операция термической обработки, может быть использована в целях улучшения эксплуатационных свойств стали.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мухамедов А. А. Исследование свойств после перекристаллизации стали // МиТОМ. 1972. № 12. С. 14–20.
- [2] Рахимов Я., Абдукаххоров З. Влияние легирующих элементов на свойства углеродистых сталей // Материалы Международной научно-практической Интернет-конференции. Астрахань, 2016.
- [3] Хрущов М. М., Бабичев М. А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970.
- [4] Садовский Н. Д. Фазовая перекристаллизация при нагреве стали // СТН. АН РУз. Ташкент: 1989. № 1. С. 61–65.

**Я. Рахимов, Х. Исаханов, З. Абдукаххоров. Темирнинг образив ейилишига барқарорлиги ва мустаҳкамлигини меъёрлаштиришида бошлангич ҳароратни таъсири**

Мақолада темирнинг образив ейилишига барқарорлиги ва ингичка структурали мустаҳкамлигини меъёрлаштирилишига бошлангич ҳароратни таъсири ўрганилган. Образив ишдан чиқишидаги ейилиш миқдори ва зичлик дислокацияси орасидаги ўзаро боғлиқлик аниқланган. Бошлангич тоблаш ва оралиқ бўшаишларни ҳароратларга боғлиқ ҳолда образив ейилиш миқдорини ўзгартириш, аустенит донини ўртача диаметрини ўзгартириш ва аустенит таркибидаги углерод миқдорини ўзгартириш топилган.

**Y. Rahimov, H. Isahanov, Z. Abdulkahhorov Influence of the temperature to prenormalization on toughness and abrasive wear capability by steels**

In article is considered influence of the temperature to renormalizations on toughness of the fine structure and abrasive wear capability by steels. The correlation dependency wills Reveal led between density дислокаци и value of the wear-out under abrasive wear-out. Founded change contents amount of carbon in аустените and change the average diameter grain, change the value of the abrasive wear-out depending on temperature preliminary hardened and intermediate furlough. Source высокотемпературная normalization, as preliminary operation of the thermals processing, can be used improvements working characteristic by steels.

УДК 532.546

**Б.Х.ХУЖАЁРОВ, Ж.М.МАХМУДОВ, У.Ж.САЙДУЛЛАЕВ**

### **ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РЕЛАКСАЦИОННОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИЙ С ОБРАЗОВАНИЕМ КЕЙК - СЛОЯ**

Фильтрация суспензий через пористые насыпки имеет большое практическое значение. При этом особый интерес представляет режим с образованием кейк -слоя на поверхности фильтра [1,2]. Если дисперсионная фаза суспензии состоит из полимерных растворов или из других высоковязких жидкостей, суспензия может обладать неньютоновскими свойствами [3]. В частности, суспензии могут иметь релаксационные свойства. Тогда они рассматриваются не как вязкие, а вязкоупругие жидкости. В принципе можно рассматривать модели фильтрации с учетом реологических моделей релаксирующих суспензий. Однако более удобно использование релаксационных законов фильтрации, подразумевая, что релаксационные эффекты в законах фильтрации являются прямым следствием релаксационных свойств суспензии [4–6].

Рассмотрим фильтрацию суспензии через фильтр, на поверхности которого образуется кейк-слой, схема которого приведена на рис.1. На поверхности фильтра образуется слой осадка твердых частиц, называемый кейк - слоем, толщина которого  $L(t)$  растет по мере фильтрации суспензии.

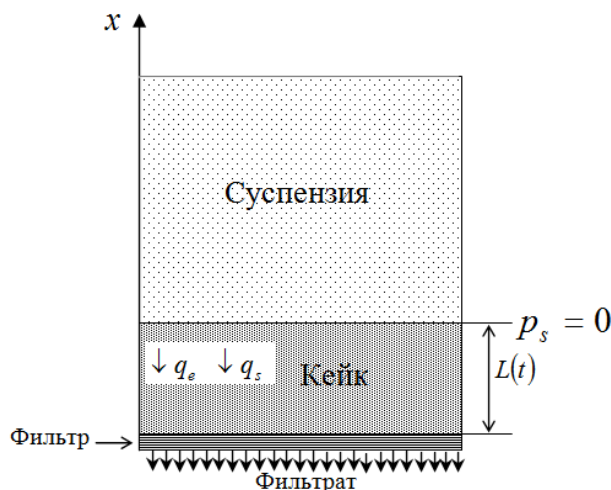


Рис. 1. Схема фильтрации суспензии с образованием кейк-слоя

Допустим, что связь между скоростями фильтрации и градиентом давления носит неравновесный характер. Закон фильтрации для одномерного случая здесь принимается в линейной дифференциальной форме

$$q_\ell = -\frac{k}{\mu} \left( 1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_\ell}{\partial x}, \quad (1)$$

где  $q_\ell$  – скорость фильтрации;  $k$  – проницаемость;  $\mu$  – вязкость;  $p_\ell$  – давление;  $\lambda_{p_\ell}$  – время релаксации градиента давления;  $t$  – время;  $x$  – координата.

Поскольку скорости фильтрования фаз могут иметь разные масштабы изменения, релаксационные эффекты также могут происходить с разными характерными временами. В этой задаче можно пренебречь релаксационными эффектами скорости фильтрации твердой фазы по сравнению с жидкой фазой [7,8]. Для закона (1) уравнение фильтрования относительно компрессионного давления  $p_s$  принимает вид

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = \frac{k^0 p_A}{\mu \beta} \left( 1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{1-\beta} \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( 1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{\beta-\delta} \left( 1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \left( \frac{\partial p_s}{\partial x} \right) \right] - q_{\ell m} \frac{\partial p_s}{\partial x}, \quad (2)$$

где  $p_A$  – характерное давление;  $k^0$  – значение проницаемости при  $p_s=0$ ;  $\beta, \delta$  – показатели постоянных величин,  $q_{\ell m}$  – поток фильтрата через фильтр, равный

$$q_{\ell m} = \frac{k}{\mu} \left( 1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0}. \quad (3)$$

Для консолидирующего осадка из уравнений неразрывности следует [2]  $\frac{\partial(q_\ell + q_s)}{\partial x} = 0$ , что

для заданного скоростного режима означает  $q_\ell + q_s = \text{const}$ . В отличие от режима с заданным давлением здесь  $q_\ell + q_s$  не служит постоянным, а является функцией времени  $q_\ell + q_s = r(t)$ , которая определяется в процессе решения задачи.

Здесь рассматривается задача с заданным скоростным режимом  $q_\ell + q_s = v_0 = \text{const}$ . Для этого режима начальное и граничные условия для (2) имеют вид

$$p_s(0, x) = 0, \quad \frac{k}{\mu} \left( 1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\frac{p_\ell}{\mu R_m} \Big|_{x=0} = -v_0 = \text{const} < 0, \quad p_s(t, L(t)) = 0, \quad (4)$$

где  $R_m$  – приведенное сопротивление фильтра.

Уравнение роста толщины слоя осадка  $L(t)$  для закона (1) имеет вид

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{\varepsilon_s^0}{\varepsilon_s^0 - \varepsilon_{s_0}} \left[ \frac{k}{\mu} \left( 1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \right]_{L^-} + \left[ \frac{k}{\mu} \left( 1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \right]_{x=0}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_s^0$  – твердосодержимое кейк-слоя при нулевом напряжении;  $\varepsilon_{s_0}$  – концентрация твердых частиц в суспензии.

Из уравнения (5) определяется подвижный фронт  $L(t)$  – граница между суспензией и кейк-слоем. Это уравнение решается совместно с основным уравнением фильтрования (2) при условиях (4) и  $L(0)=0$ .

Для уравнений (2)–(5) поставленная задача является задачей Стефана. Для ее решения применим метод конечных разностей с ловлей подвижной границы [9,10].

Вводим следующие обозначения:

$$a(p_s) = \left( 1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{1-\beta}, \quad b(p_s) = \left( 1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{\beta-\delta}, \quad c(p_s) = \frac{k^0}{\mu} \left( 1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{-\delta}, \quad c^0(p_s) = \frac{k^0}{\mu} \left( 1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{-\delta} \Big|_{x=0},$$

$$c_1 = \frac{k^0 p_A}{\beta \mu}, \quad c_2 = \frac{\varepsilon_s^0}{\varepsilon_s^0 - \varepsilon_{s_0}}.$$

С учетом этих обозначений уравнение (2) преобразуется к следующему виду:

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = c_1 a(p_s) \frac{\partial}{\partial x} \left[ b(p_s) \left( 1 + \lambda_{p_\ell} \frac{\partial}{\partial t} \right) \left( \frac{\partial p_s}{\partial x} \right) \right] - q_{\ell m} \frac{\partial p_s}{\partial x}. \quad (6)$$

Уравнение для подвижной границы (5) приводится к виду

$$\frac{dL}{dt} = -c_2 \left[ c(p_s) \left( 1 + \lambda_{pl} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \right]_L + q_{lm}, \quad (7)$$

где

$$q_{lm} = c^0(p_s) \left[ \left( 1 + \lambda_{pl} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial p_s}{\partial x} \right]_{x=0}.$$

Для численного решения задачи введем равномерную сетку по  $t$  с шагом  $\tau$ :  $\bar{\omega}_\tau = \{t | t = t_j = j\tau, j = 0, 1, \dots, N, \tau N = T\}$ , а по координате  $x$  будем использовать неравномерную сетку [9,10]  $\bar{\omega}_h = \{x | x = x_i = x_{i-1} + h_i, h_i = 0, i = 1, 2, \dots, N, N+1, N+1, \dots, x_N = L\}$  с переменным шагом  $h_i > 0$ . Шаг  $h_i$  следует выбирать из промежутка  $[x_i, x_{i+1}]$  так, чтобы подвижная граница сдвинулась ровно на один шаг по временной сетке. Этот подход известен как метод ловли фронта в узел сетки. Сеточную функцию, соответствующую  $p_s$ , обозначим через  $p_{s,i}^{j+1}$ . Аппроксимируем уравнение (6) неявной разностной схемой, нелинейной относительно функции  $p_{s,i}^{j+1}$

$$\begin{aligned} \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i}^j}{\tau} = c_1 \frac{2a(p_{s,i}^j)}{h_i + h_{i+1}} \left\{ b(p_{s,i+1/2}^{j+1}) \frac{p_{s,i+1}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i + h_{i+1}} + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} b(p_{s,i+1/2}^{j+1}) \left[ \frac{p_{s,i+1}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i + h_{i+1}} - \frac{p_{s,i+1}^j - p_{s,i-1}^j}{h_i + h_{i+1}} \right] - \right. \\ \left. - b(p_{s,i-1/2}^{j+1}) \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i} - \frac{\lambda_{pl}}{\tau} b(p_{s,i-1/2}^{j+1}) \left[ \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i} - \frac{p_{s,i}^j - p_{s,i-1}^j}{h_i} \right] \right\} - (q_{lm})_0^{j+1} \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i}, \quad (8) \\ i = 1, \dots, N-1, \quad j = 0, 1, \dots, N-1, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} a(p_{s,i}^j) = \left( 1 + \frac{p_{s,i}^j}{p_A} \right)^{1-\beta}, \quad b(p_{s,i+1/2}^{j+1}) = \frac{1}{2} \left[ \left( 1 + \frac{p_{s,i+1}^{j+1}}{p_A} \right)^{\beta-\delta} + \left( 1 + \frac{p_{s,i}^{j+1}}{p_A} \right)^{\beta-\delta} \right], \\ (q_{lm})_0^{j+1} = c^0(p_{s,0}^{j+1}) \left( \frac{p_{s,1}^{j+1} - p_{s,0}^{j+1}}{h_0} + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} \left( \frac{p_{s,1}^{j+1} - p_{s,0}^{j+1}}{h_0} - \frac{p_{s,1}^j - p_{s,0}^j}{h_0} \right) \right), \quad c^0(p_{s,0}^{j+1}) = \frac{k^0}{\mu} \left( 1 + \frac{p_{s,0}^{j+1}}{p_A} \right)^{-\delta}. \end{aligned}$$

Уравнение (7) с учетом  $\frac{dL}{dt} \approx \frac{h_{i+1}}{\tau}$  после аппроксимации приводится к виду

$$\frac{h_{i+1}}{\tau} = -c_2 \left[ c(p_{s,i-1/2}^j) \left( \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_{i+1}} + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} \left( \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_{i+1}} - \frac{p_{s,i}^j - p_{s,i-1}^j}{h_{i+1}} \right) \right) \right] + (q_{lm})_0^{j+1}, \quad (9)$$

где

$$c(p_{s,i-1/2}^j) = \frac{k^0}{2\mu} \left[ \left( 1 + \frac{p_{s,i}^j}{p_A} \right)^{-\delta} + \left( 1 + \frac{p_{s,i-1}^j}{p_A} \right)^{-\delta} \right].$$

Аппроксимация начального и граничных условий (4) дает

$$\begin{aligned} p_{s,i}^j = 0, \quad i = 0, 1, \dots, N, \quad j = 0, \\ -\mu c^0(p_{s,0}^j) \left( \frac{p_{s,1}^{j+1} - p_{s,0}^{j+1}}{h_1} + \frac{1}{\tau} \left( \frac{p_{s,1}^{j+1} - p_{s,0}^{j+1}}{h_1} - \frac{p_{s,1}^j - p_{s,0}^j}{h_1} \right) \right) = \frac{p_\ell}{R_m} = v_0, \quad j = \overline{0, N}, \quad (10) \\ p_{s,i}^{j+1} = 0, \quad i = N+1, N+2, \dots, \quad j = 0, 1, \dots \end{aligned}$$

Полученная система уравнений является нелинейной, поэтому для ее решения воспользуемся методом простой итерации и перепишем систему (8) в виде

$$\begin{aligned} \frac{p_{s,i}^{j+1} - \phi_i^j}{\tau} = c_1 \frac{2a(p_{s,i}^j)}{h_i + h_{i+1}} \left\{ b(p_{s,i+1/2}^{(s)}) \frac{p_{s,i+1}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i + h_{i+1}} + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} b(p_{s,i+1/2}^{(s)}) \left[ \frac{p_{s,i+1}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i + h_{i+1}} - \frac{p_{s,i+1}^j - p_{s,i-1}^j}{h_i + h_{i+1}} \right] - \right. \\ \left. - b(p_{s,i-1/2}^{(s)}) \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i} - \frac{\lambda_{pl}}{\tau} b(p_{s,i-1/2}^{(s)}) \left[ \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i} - \frac{p_{s,i}^j - p_{s,i-1}^j}{h_i} \right] \right\} - \left( q_{\ell m} \right)_0 \frac{p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1}}{h_i}, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} b(p_{s,i+1/2}^{(s)}) = \frac{1}{2} \left[ \left( 1 + \frac{p_{s,i+1}^{j+1}}{p_A} \right)^{\beta-\delta} + \left( 1 + \frac{p_{s,i}^{j+1}}{p_A} \right)^{\beta-\delta} \right]; \\ \left( q_{\ell m} \right)_0^{j+1} = c^0 \left( p_{s,0}^{(s)} \right) \left( \frac{p_{s,1}^{j+1} - p_{s,0}^{j+1}}{h_1} + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} \left( \frac{p_{s,1}^{j+1} - p_{s,0}^{j+1}}{h_1} - \frac{p_{s,1}^j - p_{s,0}^j}{h_1} \right) \right); \end{aligned}$$

$s$  – номер итерации.

Видно, что система (10) уже является линейной относительно  $p_{s,i}^{j+1}$ , что позволяет использовать метод прогонки. В качестве условия остановки счета на данном временном слое можно использовать следующее соотношение:

$$\max_i \left| p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i}^{j+1} \right| \leq \varepsilon, \quad (12)$$

где  $\varepsilon$  – точность вычислений. Когда условие (12) выполняется, то принимается  $p_{s,i}^{j+1} = p_{s,i}^{j+1}$ . В качестве начального приближения можно взять  $p_{s,i}^{j+1} = p_{s,i}^j$ .

Уравнение (11) приводится к системе линейных уравнений

$$A_i p_{s,i-1}^{j+1} - B_i p_{s,i}^{j+1} + C_i p_{s,i+1}^{j+1} = -F_i, \quad i = \overline{1, N-1}, \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} A_i &= -\frac{1}{h_i + h_{i+1}} \left( 1 + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} \right) b \left( p_{s,i+1/2}^{(s)} \right) + \frac{1}{h_i} \left( 1 + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} \right) b \left( p_{s,i-1/2}^{(s)} \right) + \frac{h_i + h_{i+1}}{2c_1 h_i a(p_{s,i}^j)} q_{\ell m}, \\ B_i &= \frac{1}{h_i} \left( 1 + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} \right) b \left( p_{s,i-1/2}^{(s)} \right) + \frac{h_i + h_{i+1}}{2c_1 a(p_{s,i}^j)} + \frac{h_i + h_{i+1}}{2c_1 h_i a(p_{s,i}^j)} q_{\ell m}, \quad C_i = \frac{1}{h_i + h_{i+1}} \left( 1 + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} \right) b \left( p_{s,i+1/2}^{(s)} \right), \\ F_i &= \frac{h_i + h_{i+1}}{2c_1 a(p_{s,i}^j)} p_{s,i}^j + \frac{\lambda_{pl}}{(h_i + h_{i+1})\tau} b \left( p_{s,i+1/2}^{(s)} \right) (p_{s,i-1}^j - p_{s,i+1}^j) - \frac{\lambda_{pl}}{h_i \tau} b \left( p_{s,i-1/2}^{(s)} \right) (p_{s,i-1}^j - p_{s,i}^j). \end{aligned}$$

Соотношение (9) используется для определения шага по координате и его можно записать в виде

$$(h_{i+1})^2 - \tau (q_{\ell m})_0^{j+1} h_{i+1} + \tau c_2 c(p_{s,i-1/2}^j) \left( p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1} + \frac{\lambda_{pl}}{\tau} (p_{s,i}^{j+1} - p_{s,i-1}^{j+1} - p_{s,i}^j + p_{s,i-1}^j) \right) = 0.$$

Решая это нелинейное уравнение, на каждом временном слое определим  $h_{i+1}$ .

Система уравнений (13) решается методом прогонки

$$p_{s,i}^{j+1} = \xi_{i+1} p_{s,i+1}^{j+1} + \zeta_{i+1}, \quad (14)$$

где прогоночные коэффициенты  $\xi_{i+1}, \zeta_{i+1}$  определяются из следующих рекуррентных соотношений:

$$\xi_{i+1} = \frac{C_i^{(s)}}{B_i - A_i \xi_i}, \quad \zeta_{i+1} = \frac{F_i + A_i \zeta_i^{(s)}}{B_i - A_i \xi_i^{(s)}}.$$

Стартовые значения коэффициентов  $\xi_1, \zeta_1$  определяются из граничного условия (10)

$$\xi_1 = 1, \quad \zeta_1 = \frac{c^0(p_{s,0}^j) \frac{\lambda_{p\ell}}{h_0 \tau} (p_{s,0}^j - p_{s,1}^j) + v_0}{\frac{c^0(p_{s,0}^j)}{h_0} \left(1 + \frac{\lambda_{p\ell}}{\tau}\right)}. \quad (15)$$

Численные результаты решения задачи (14)–(15) получены при следующих значениях параметров:  $v_0=10^{-4}$  м/с,  $p_A=10^{-4}$  Па,  $R_m=10^{12}$  1/м,  $\mu=10^{-3}$  Па·с,  $k^0=0.8 \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>,  $\varepsilon_s^0=0.0076$ ,  $\varepsilon_{s0}=0.0076$ ,  $\beta=0.13$ ,  $\delta=0.57$ .

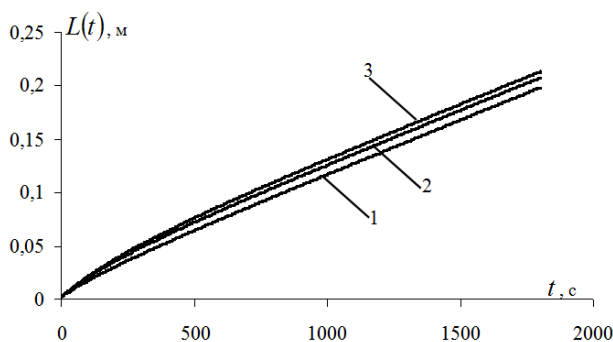


Рис. 1. Динамика толщины слоя осадка на поверхности фильтра при  $\lambda_{\ell m}=0$  (1); 150 (2); 350 (3) с

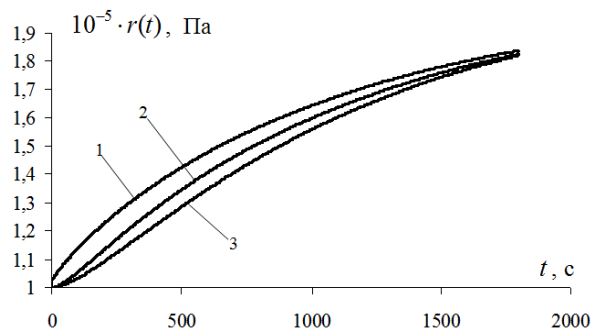


Рис. 2. Изменение  $r(t)$  в точке  $x=0$  при  $\lambda_{\ell m}=0$  (1); 150 (2); 350 (3) с

На рис. 1 приведены графики роста толщины слоя осадка при различных значениях времени релаксации  $\lambda_{\ell m}$ . Как установлено, увеличение времени релаксации при прочих равных условиях приводит к ускоренному росту толщины осадка.

На рис. 2 показана зависимость  $r(t)=p_\ell+p_s$  в точке  $x=0$  времени. Как видно,  $r(t)$  имеет возрастающую динамику. При этом релаксационные свойства фильтрационного потока приводят к запаздывающей динамике  $r(t)$ . В соответствии с принятыми значениями исходных параметров  $\mu, R_m, v_0$  в точке  $x=0$  имеет  $p_\ell|_{x=0} = \mu v_0 R_m = 10^5$  Па. Из рис. 2 видно, что графики  $r(t)$  при  $x=0$  имеют такое значение. Влияние релаксационных эффектов ощущается в диапазонах текущего времени, сравнимых с релаксационным временем  $\lambda_{\ell m}$ . При больших  $t$  влияние релаксационных эффектов исчезает. Рост суммарного давления  $r(t)$  обусловлен ростом  $p_s$ , так как  $p_\ell$  при  $x=0$  принимает постоянное значение. С ростом толщины кейк-слоя при постоянном расходе фильтруемой смеси компрессионное давление увеличивается.

Таким образом, полученные результаты дают основание полагать, что релаксационный характер потока существенно меняет как рост толщины кейк-слоя, так и его фильтрационные характеристики.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. Ч.1. Теоретические основы процессов химической технологии // Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с.
- [2] Tien C. Principles of filtration. Elsevier, The Netherlands, 2012.
- [3] Библик Е. Е. Реология дисперсных систем. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 172 с.
- [4] Молокович Ю. М. и др. Релаксационная фильтрация. Казань: КГУ, 1980. – 136 с.
- [5] Хужаёров Б. Х. Фильтрация неоднородных жидкостей в пористых средах. Ташкент. Фан. 2012. – 280 с.



- [6] Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М. Математические модели фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах. Ташкент: Фан. 2014. – 280 с.
- [7] Хужаёров Б.Х., Бобокулов Ё.О., Худоёров Ш.Ж. Релаксационная фильтрация однородных жидкостей в трещиновато-пористых средах // Инженерно-физический журнал. 2001. Т. 74. №5. С. 17–23.
- [8] Хужаёров Б.Х., Сайдуллаев У.Ж., Махмудов Ж.М. Уравнения фильтрации суспензий с образованием релаксирующего кейк-слоя// Узбекский журнал «Проблемы механики». 2014. № 3–4. С. 69–72.
- [9] Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал УРСС, 2003.–784с.
- [10] Caldwell J., Kwan Y.Y. Numerical methods for one-dimensional Stefan problems. Communications in Numerical Methods in Engineering. 2004, №20. p. 535–545.

Самаркандский государственный университет им. Алишера Навои

Дата поступления  
10.05.2016

***Б.Х. Хўжаёров, Ж.М. Махмудов, У.Ж. Сайдуллаев. Релаксацион кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларни филтрлаш тенгламаларини сонли ечиш***

*Мақолада филтрлаш тезлиги ўзгармас бўлгандаги релаксацион филтрлаш масаласи сонли ечилган. Релаксация параметрининг филтрлаш характеристикаларига таъсири ўрганилган.*

***B.Kh. Khuzhayorov, J.M. Makhmudov, U.Zh. Saydullaev. Numerical solution of suspensions filtering problem with forming a cake layer***

*In the paper a relaxation filtering problem with constant filtering rate regime is numerically solved. Influence of relaxation phenomena on filtering characteristics is studied.*

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ, СЕЙСМОДИНАМИКА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»  
12-14 СЕНТЯБРЯ 2016 г.**

УДК 534.15

**Р.В.ГОЛЬДШТЕЙН, А.В.ИЛЬЯШЕНКО, С.В. КУЗНЕЦОВ**

**СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ РЭЛЕЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА СООРУЖЕНИЯ**

Рассматриваемые недавние тектонические землетрясения, произошедшие в различных местах земного шара, привели к неожиданным разрушениям тех сооружений, что, казалось бы, должны были выдержать землетрясения, интенсивность которых не превосходила расчетной.

На рис. 1 показан президентский дворцовый комплекс в Порт-о-Пренсе до и после разрушения землетрясением, произошедшим в марте 2010 г.

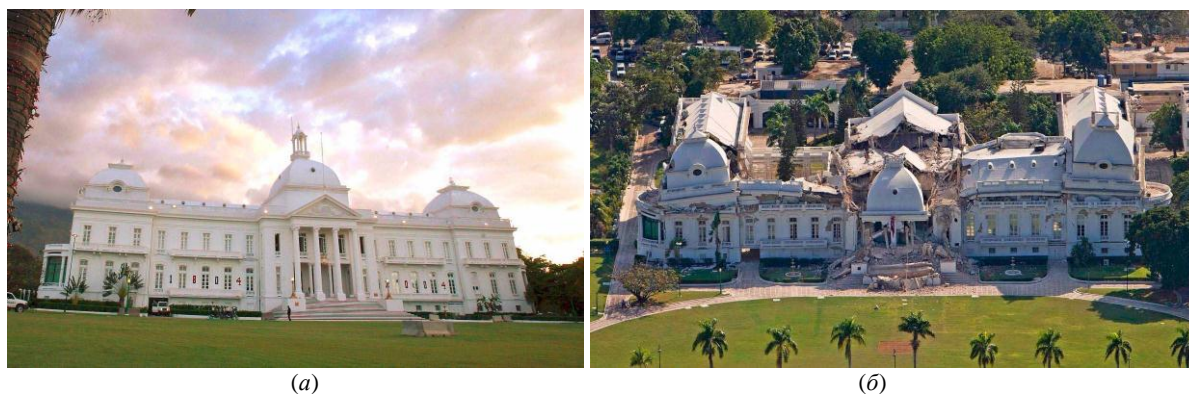


Рис.1. Дворцовый комплекс в Порт-о-Пренсе до (а) и после (б) землетрясения в марте 2010 г.

Эпицентр землетрясения располагался на глубине 13 км и находился в 25 км от Порт-о-Пренса. Историческое здание дворцового комплекса постройки 1912–1920 гг. (архитектор Baussan) было возведено из железобетона [1] в соответствии с французскими проектными нормами того времени. В 2004 г. дворцовый комплекс был реконструирован и оснащен системой сейсмоизоляторов [2]. Анализ разрушений выявил многочисленные трещины в фундаментных конструкциях центральной части комплекса.

В Японии в марте 2011 г. произошло землетрясение магнитудой 8.9 баллов (по некоторым данным, в эпицентре было 9 баллов по шкале Рихтера [3]), эпицентр которого располагался на глубине 13 км и в 35 км от столицы префектуры Фукусима. Несмотря на то, что в этом районе расчетным является девятибалльное землетрясение, некоторые здания оказались разрушенными. Особенно показательным представляется разрушение фундаментных плит, приведенных на рис. 2 (см. [4, 5]).



Рис.2. Разрушения фундаментных плит, вызванные землетрясением в Японии в марте 2011 г.

На рис. 3 показано разрушение фундаментной плиты в торговом здании в префектуре Ниигата [6]. Разрушение вызвано землетрясениями в июле 2007 г. интенсивностью 6.6 баллов по шкале Рихтера с эпицентром на глубине 10 км и последовавшим за этим глубокофокусным землетрясением магнитуды 6.8 баллов с гипоцентром, расположенным на глубине 350 км, и происшедшим спустя 13 часов после первого землетрясения. Считается, что основные разрушения в Ниигате произведены первым короткофокусным землетрясением.

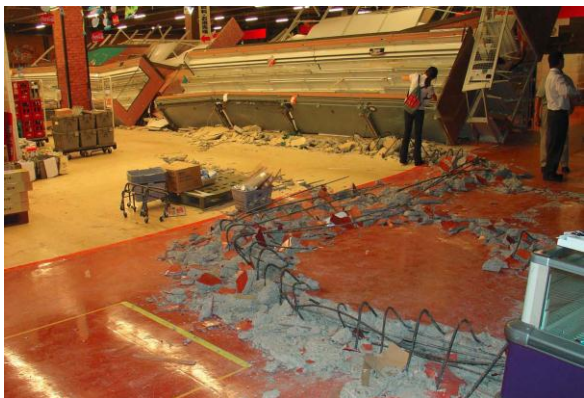


Рис. 3. Разрушение фундаментной плиты в торговом здании в префектуре Ниигата во время землетрясения в марте 2011 г.



Рис. 4. Разрушение колонн виадука в Сан-Франциско во время землетрясения в октябре 1989 г.

Разрушение, связанное с нерасчетным изгибом колонн виадука в Сан-Франциско, показано на рис. 4. Разрушение колонн вызвано землетрясением интенсивностью 6.9 баллов, происшедшим в октябре 1989 г. в Северной Калифорнии (Лома-Приета) [7].

Следует отметить, что еще одной весьма частой причиной разрушения мостовых сооружений, наряду с нерасчетным изгибом опорных конструкций, является потеря несущей способности грунта. На рис. 5 показано опрокидывание трех опор виадука в Койзуми-о-Хаши [8] при землетрясении в марте 2011 г. в Фукусиме.



Рис. 5. Опрокидывание трех опор виадука в Койзуми-о-Хаши при землетрясении в марте 2011 г. в Фукусиме

Возможные причины непредвиденных разрушений фундаментных конструкций, а также изгибных напряжений в опорных конструкциях мостовых сооружений, превышавших расчетные значения, рассматриваются далее.

**Документы, регламентирующие расчеты на сейсмические воздействия.** *Общестроительные нормы.* Обзор российских [9–12] и зарубежных [13–20] нормативных документов, регламентирующих расчеты зданий и сооружений на сейсмические воздействия, показывает, что в расчетах должны учитываться: 1) вертикальная и горизонтальная составляющие сейсмических воздействий (смещения, скорости или ускорения); 2) (расположение строительной площадки по отношению к известным активным разломам); 3) здания при необходимости должны разделяться сейсмическими швами [20, Sect.2.2.4] (в старых российских нормах [9, 10] максимальное расстояние

$l$  между швами регламентировалось: для зданий со стальным каркасом  $l < 150$  м, для зданий с железобетонным каркасом в зависимости от расчетной балльности площадки  $l < 60-80$  м); 4) основные расчеты зданий и сооружений на сейсмические воздействия должны выполняться (а) по линейному спектральному методу либо (б) по динамическому методу во временной области.

Здесь следует отметить, что и в линейном спектральном методе, и в динамическом методе предполагается, что нагрузки по подошве фундамента распределены равномерно. Фактически это исключает учет волновой природы сейсмических воздействий.

*Нормы, принятые в атомной энергетике.* Интересно отметить, что оба этих расчетных метода рекомендованы и для расчетов на сейсмические воздействия в атомной энергетике [21–23]. В дополнение к требованиям (1)–(4) в атомной энергетике накладывается дополнительное ограничение на скорость поперечной волны в грунте, например в [23]  $c_s > 700$  м/с, тем самым исключаются площадки со слабыми грунтами. Кроме того, в атомной энергетике для протяженных объектов, например трубопроводов и зданий, протяженностью более 100 м, по нормам требуется учитывать волновую природу сейсмических воздействий [21, 23].

Необходимо отметить, что в российских нормах [21] расчетные формулы для волновых воздействий даны лишь для определения усилий в анкерных узлах, причем в этих формулах фазовая частота сейсмических волн не учитывается, см. ([21, формулы (6.1), (6.2)]).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Crain E. E. Historic Architecture in the Caribbean Islands. University Press of Florida, 1994.
- [2] The Mw 7.0 Haiti Earthquake of January 12, 2010: Report #2. EERI Special Earthquake Report – May, 2010.
- [3] Stewart J. Geotechnical Issues and Ground Motions. // Briefing of the Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). Berkeley; CA; USA, 2011.
- [4] Lignos D. Effects of the Tohoku Japan earthquake on steel structures, <http://www.eqclearinghouse.org/2011-03-11-sendai/2011/08/03/eeri-steel-structures-reconnaissance-group>.
- [5] The Tohoku, Japan, Tsunami of March 11, 2011: Effects on Structures // EERI Special Earthquake Report, 2011.
- [6] Niigata Chuetsu-Oki, Japan Earthquake Reconnaissance // Report by Global Risk Miyamoto, Japan, 2007.
- [7] Praetzelis A. M. The Loma-Prieta earthquake and aftermath. California Dept. of Transportation. Sonoma State Univ, 2004.
- [8] Bridge Performance in the Mw 9.0 Tohoku, Japan, Earthquake of March 11, 2011 // EERI Special Earthquake Report – September, 2011.
- [9] СНиП 2-8-71 Строительство в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1982.
- [10] СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия. М.: Госстрой, 2003.
- [11] Kuznetsov, S. V. Love waves in stratified monoclinic media, Quart. Appl. Math. Vol.62. 2004. P. 749–766.
- [12] СП 14.13330.2011 (СНиП 2-8-71\*) Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция. М.: Минрегионразвития РФ, 2011.
- [13] UFC 3-310-04, Seismic Design for Buildings, 22 June 2007, Dept. of Defense, US, 2007.
- [14] International Handbook of Earthquake Engineering: Codes, Programs, and Examples, Edited by M. Paz. NY: Chapman & Hall, Inc., 1994.
- [15] Standards ASCE/SEI 7-10, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE, 2010. – 608p.
- [16] Bridge Engineering. Seismic Design. Edited by Chen W.F. and Duan L. CRC Press, 2003, Print.
- [17] NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures. Solicitation Number: HSFEHQ-11-R-0044, FEMA publication, 2011.
- [18] Eurocode 8: EN 1998 P1. Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings. BS publication 29/08/2008.
- [19] Eurocode 8: EN 1998 P5. Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects. BS publication 30/06/2009.
- [20] Seismic Design of Buildings to Eurocode 8. Edited by Ahmed Elghazouli, Spon Press, 2009. –320p.
- [21] НП 031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. М.: Госатомнадзор, 2002.
- [22] MPR-2610 Application of Advanced Construction Technologies to New Nuclear Power Plants Prepared for U.S. Revision 2 September 24, 2004. DOE publication 2004.
- [23] Standards ASCE 4-98, Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures (4-98) ASCE, 2000. –132 p.

Институт проблем механики РАН, Россия, Москва,  
Московский государственный строительный университет,

Дата поступления  
30.05.2016

***Р.В. Гольдштейн, А.В. Ильяшенко, С.В. Кузнецов. Релея сейсмик тўлқини, уларнинг иншоотларга таъсири ва оқибатлари***

*Ҳажмий акустик тўлқинлар, шунингдек, Релея, Релея–Лэмба, ва Лява сирт тўлқинларини ҳисобга олган ҳолда, келиб чиқиши бўйича турлича бўлган сейсмик тўлқинларнинг тарқалишини моделиштириши бўйича бажарилган ишлар таҳлил қилинган. Сейсмик тўлқинларнинг иншоотлар билан ўзаротаъсири бўйича тадқиқотлар ўрганиб чиқилди. Сейсмик тўлқинларнинг иншоотларга таъсири чекли элемент моделлари асосида тадқиқ қилинган.*

*R.V. Goldstein, A.V. Ilyashenko, S.V. Kuznetsov. Seismic Rayleigh waves and the effects of their actions on structures*

*Analyzes of modeling the propagation of seismic waves of various etiologies, including bulk acoustic wave and surface Rayleigh waves, Rayleigh - Lamb and Love. The analysis of studies on the interaction of seismic waves with structures. On the basis of finite element models investigated the impact of seismic waves on structures.*

УДК 624.03

**С.Х. ДОСТАНОВА, Е.А. ИСАХАНОВ, К.Е. ТОКПАНОВА**

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК**

Современный уровень развития строительного производства характеризуется внедрением новых технологий, использованием композитных материалов, обладающих высокой прочностью и экономичностью. Среди тонкостенных конструкций особенно эффективны по своим характеристикам пластины и оболочки сложной формы.

Для исследования напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций необходимо выбрать такие модели, которые опишут реальное поведение материала и изменение жесткости опорных связей в процессе деформирования [1–4]. Современное состояние инженерной практики предъявляет к теории расчета конструкций два основных требования: 1) возможности оценки значимости нелинейных эффектов для данной конструктивной системы и применимости приближенной линейной теории; 2) способности надежно предсказать нелинейное поведение конструкций в пределах, представляющих практическую инженерную значимость.

В теории тонкостенных конструкций имеются проблемы, решения которых требуют совершенствования математических и расчетных моделей, разработки новых более гибких дискретных элементов с наименьшим числом ограничений. При малых деформациях и перемещениях основой для расчета конструкций является линейная теория, которая вполне удовлетворяет требованиям прочности и жесткости. В последнее время значительно повысились требования надежности и материалоемкости к современным строительным конструкциям для чего необходимо проведение расчетов с учетом их нелинейного поведения, вызванного влиянием больших линейных и угловых перемещений на напряженно-деформированное состояние системы в целом. Современные компьютерные программы в недостаточном объеме реализуют нелинейные методы и не дают сведений о необходимой степени учета нелинейности в расчетах конструкций зданий и сооружений.

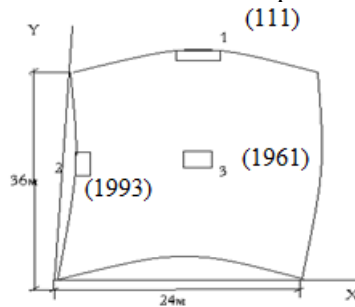
Характерная особенность поведения большепролетных оболочек покрытий под действием приложенных нагрузок – появление больших полей перемещений, сопоставимых с толщиной оболочки или превышающих ее. Использование для таких систем линейной теории приводит к большим расхождениям и погрешностям. При использовании нелинейной теории необходимо оценить степень нелинейности. Существует несколько причин нелинейного поведения тонкостенных конструкций. Одна из причин нелинейности – значительное искажение формы в процессе деформирования системы. В основном, это значительно проявляется при больших значениях внешней нагрузки. При малой степени геометрической нелинейности можно использовать расчет по недеформированной схеме.

Для расчета гибких пластин и оболочек часто используется нелинейность второго порядка в виде нелинейной зависимости между деформациями и перемещениями. При этом допускается малость линейных и угловых перемещений.

При деформировании системы с малыми перемещениями, но с большими углами поворота (гибкие нити) используется третья степень геометрической нелинейности. При исключении допущений о малости линейных и угловых перемещений используется четвертая степень геометрической нелинейности. В этом случае, помимо прочности и жесткости системы, возникает вопрос, устойчивости деформированных состояний конструкции как в малом, так и в большом. Потеря устойчивости в большом сопровождается скачкообразным переходом системы при постоянной нагрузке к большим перемещениям и выбросом энергии, что приводит к уменьшению потенциальной энергии системы.

Для расчета тонкостенных систем используются численные методы, среди которых самый распространенный метод конечных элементов (МКЭ) [4–5]. При расчете конструкций с большими перемещениями в МКЭ используют шаговые процедуры по параметру внешней нагрузки. Полное решение для каждой итерации складывается из суммы линейного решения и добавки за счет геометрической нелинейности. Матрица жесткости системы на каждом шаге изменения внешней нагрузки изменяется путем добавления дополнительной матрицы жесткости за счет геометрической нелинейности.

Цель данной работы состоит в том, чтобы оценить влияние геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние пологой оболочки без допущений малости угловых и линейных перемещений. Рассматриваются гладкая и ребристая железобетонная оболочка 24x36м в плане ( $h=0.15$  м) с различными опорными связями. Срединная поверхность с выделенными номерами конечных элементов (для простоты указаны только характерные точки) представлена на рисунке. Расчет выполнен с использованием компьютерной программы Лира 9.6.



Нумерация конечных элементов

В качестве модели принята модель Тимошенко–Рейсснера, учитывающая сдвиговые деформации. Деформации срединной поверхности и сдвиговые деформации в двух направлениях для гибкой оболочки имеют следующий вид [1–5]:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} - k_1 w + \frac{1}{2} \left( -\frac{\partial w}{\partial x} + k_1 u \right)^2, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} - k_2 w + \frac{1}{2} \left( -\frac{\partial w}{\partial y} + k_2 v \right)^2, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \left( -\frac{\partial w}{\partial x} + k_1 u \right) \left( -\frac{\partial w}{\partial y} + k_2 v \right), \quad (1)$$

$$\gamma_{xz} = kf(z) \left( 2 \frac{\partial w}{\partial x} - k_1 u \right), \quad \gamma_{yz} = kf(z) \left( 2 \frac{\partial w}{\partial y} - k_2 v \right), \quad f(z) = 6 \left( \frac{1}{4} - \frac{z^2}{h^2} \right), \quad \frac{1}{k} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} f(z)^2 dz,$$

где  $u, v, w$  – перемещения точек срединной поверхности оболочки в направлении осей  $x, y, z$ ;  $k_1, k_2$  – кривизны в двух направлениях, определяемые из уравнения срединной поверхности;  $h$  – толщина оболочки.

Физические уравнения для анизотропного материала имеют следующий вид:

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu_1 \mu_2} \left[ \varepsilon_x + \mu_2 \varepsilon_y + z \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu_2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right], \quad \sigma_y = \frac{E}{1 - \mu_1 \mu_2} \left[ \varepsilon_y + \mu_1 \varepsilon_x + z \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu_1 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \right],$$

$$\tau_{xy} = G_{12} \left[ \gamma_{xy} + z \left( 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \right], \quad \tau_{xz} = G_{13} kf(z) \left( 2 \frac{\partial w}{\partial x} - k_1 u \right), \quad \tau_{yz} = G_{23} kf(z) \left( 2 \frac{\partial w}{\partial y} - k_2 v \right),$$

где  $E, \mu_1, \mu_2, G_{12}, G_{13}, G_{23}$  – прочностные характеристики в разных направлениях. Использованная модель является более универсальной в сравнении с другими [1–4]. При расчете использовался вариационный метод. С учетом нелинейности функционал полной энергии для модели Тимошенко–Рейсснера имеет вид

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \int_0^a \int_0^b \int_0^h \left[ N_x \varepsilon_x + N_y \varepsilon_y + T_{xy} \gamma_{xy} + M_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + M_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2M_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \right.$$

$$\left. + Q_x \theta_1 + Q_y \theta_2 - 2P_x u - 2P_y v - 2P_z w \right] dx dy dz, \quad \theta_1 = \left( 2 \frac{\partial w}{\partial x} - k_1 u \right), \quad \theta_2 = \left( 2 \frac{\partial w}{\partial y} - k_2 v \right),$$

где  $N_x, N_y, T_{xy}, M_x, M_y, M_{xy}$  – соответственно мембранные и изгибные усилия;  $P_i$  – составляющие внешней нагрузки.

Для недеформированной оболочки составляющие внешней нагрузки имеют следующий вид:

$$P_x=q_1, P_y=q_2, P_z=q_3.$$

Для деформированной формы оболочки составляющие внешней нагрузки имеют вид

$$q_1^* = q_1 - \frac{\partial u}{\partial y} q_2 + \frac{\partial w}{\partial x} q_3, \quad q_2^* = q_2 - \frac{\partial v}{\partial x} q_1 + \frac{\partial w}{\partial y} q_3, \quad q_3^* = q_3 - \frac{\partial w}{\partial x} q_2 - \frac{\partial w}{\partial y} q_3.$$

Результаты численного расчета оболочки представлены в табл. 1–4, размерность усилий дана в кН, кНм, размерность линейных перемещений – в см, размерность угловых перемещений – в радианах[5]. В табл. 1 и 2 представлены значения внутренних усилий, линейные и угловые перемещения в гладкой оболочке, шарнирно опертой по краям, с учетом и без учета геометрической нелинейности.

Таблица 1

**Значения внутренних усилий в гладкой оболочке, шарнирно опертой по краям**

№ элемента	$N_x$	$N_y$	$T_{xy}$	$M_x$	$M_y$	$M_{xy}$	$Q_x$	$Q_y$
Без учета геометрической нелинейности								
111	-2.71	-260.2	9.28	-0.0043	0.005	-38x10 <sup>-6</sup>	0.033	-0.001
1993	-139.9	-32.92	-18	0.017	0.055	-72x10 <sup>-6</sup>	-0.005	-0.1
1961	-72.17	-221.7	-0.64	-0.001	0.002	43x10 <sup>-6</sup>	0	-0.002
С учетом геометрической нелинейности								
111	-2.12	-194.2	9.28	-0.0043	0.005	-38x10 <sup>-6</sup>	0.033	-0.001
1993	-77.36	-24.4	-17	0.12	0.375	-0.006	0.012	-0.26
1961	-66.81	-205	-0.54	-0.01	0.014	0.004	0.013	0.003

Таблица 2

**Значения линейных и угловых перемещений в гладкой оболочке**

№ элемента	u	v	z	$u_x$	$v_y$	$w_z$
Без учета геометрической нелинейности						
111	-0.45	-0.775	-8.07	-1.8	-0.934	-2.33
1961	0.0045	-0.007	-3.42	-0.018	0.009	0.02
С учетом геометрической нелинейности						
111	0.72	-0.984	9.07	-1.13	-2.53	-4.6
1961	0.072	-0.009	3.42	-0.11	-0.024	0.4

В табл. 3 представлены линейные и угловые перемещения в ребристой оболочке, шарнирно опертой по краям, с учетом и без учета геометрической нелинейности.

Таблица 3

**Значения линейных и угловых перемещений в ребристой оболочке**

№ элемента	u	v	z	$u_x$	$v_y$	$w_z$
Без учета геометрической нелинейности						
111	-0.267	-0.726	-8.6	-1.29	-0.573	-0.111
1961	0.0027	-0.007	-2.21	0.161	0.0057	0.0011
С учетом геометрической нелинейности						
111	-0.259	-0.841	-9.5	-1.45	-0.645	-0.603
1961	0.0026	-0.0084	-3.6	-0.0181	0.006	0.006

В табл. 4 представлены линейные и угловые перемещения в гладкой оболочке, жестко защемленной по краям, с учетом и без учета геометрической нелинейности.

Таблица 4

**Значения линейных и угловых перемещений в гладкой оболочке, жестко защемленной по краям, с учетом и без учета геометрической нелинейности**

№ элемента	u	v	z	$u_x$	$v_y$	$w_z$
Без учета геометрической нелинейности						
111	-0.085	-0.189	-2.29	-0.44	-0.235	-0.034
1961	0.001	-0.002	-0.86	0.004	0.002	0.0003
С учетом геометрической нелинейности						
111	-0.151	-0.275	-2.44	-1.7	-0.64	-1.33
1961	0.0015	-0.002	-1.05	-0.01	0.003	0.003

Таким образом, учет геометрической нелинейности снижает значения внутренних усилий в сравнении с линейной теорией, при этом линейные и угловые перемещения значительно увеличиваются и соизмеримы с 1. Наличие ребер жесткости приводит к перераспределению усилий. Учет геометрической нелинейности значительно увеличивает значения изгибных перемещений, мембранные усилия незначительно увеличиваются. Изменение податливости опорных связей с учетом геометрической нелинейности приводит к резкому изменению как мембранных, так и изгибных перемещений. Уменьшение жесткости опорных связей способствует увеличению изгибных перемещений в 3 раза, при этом внутренние усилия незначительно изменяются в сравнении с линейной теорией.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Агапов В.П., Васильев А.В. Учет геометрической нелинейности при расчете железобетонных колонн прямоугольного сечения методом конечных элементов // Вестник МГСУ. М., 2014. №4. С. 37–43.
- [2] Карпов В.В., Игнатьев О.В., Сальников А.Ю. Нелинейные математические модели деформирования оболочек переменной толщины и алгоритмы их исследования. М., АСВ; Спб.: СпбГАСУ, 2002. – 420 с.
- [3] Карпов В.В. Прочность и устойчивость подкрепленных оболочек вращения. М., Физматлит, 2010. – 288с.
- [4] Клованич С.Ф., Безушко Д.И. Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкциях. Одесса: Изд. ОНМУ, 2009. – 89с.
- [5] Достанова С.Х., Тулегенова О.Е. Расчет ребристой полой оболочки с учетом геометрической нелинейности // Сб. матер. Международ. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: Инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве». Алматы, 2016. С.92–96.

Казахская головная архитектурно-строительная академия

Дата поступления  
31.05.2016

*С.Х. Достанова, Е.А. Исаханов, К.Е. Токпанова. Юққа деворли қия қобиқларнинг кучланганлик – деформацияланганлик ҳолатига геометрик чизиқсизликнинг таъсири*

*Юққа деворли қия қобиқларнинг кўчишларига ва ички кучланишларга геометрик чизиқсизликни таъсири кўрсатилган. Тутиб турувчи боғлиқликларнинг мустақамлигини ҳисобга олиб қовурғали ва текис қобиқлар учун сонли ҳисоблаш натижалари келтирилган, геометрик чизиқсизликнинг таъсир даражаси баҳоланган.*

*S.H. Dostanova, E.A. Isahanov, K.E. Tokpanova. Influence of geometric nonlinearity on the stress-strain state thin-walled shallow shells*

*The influence of geometric nonlinearity on the internal forces and displacements thin shallow shell are shown. Numerical results for smooth and ribbed shells taking into account the rigidity of the support connections are represented, evaluating the degree of influence of geometric nonlinearity are given..*

УДК 624.04(07)

**И.Н. ДЮСЕМБАЕВ, С.Х. ДОСТАНОВА**

### **РАСЧЕТ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЁТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА**

Современные здания и сооружения представляют собой сложные конструкции. Использование новых материалов и нанотехнологий, способствующих созданию эффективных конструкций, требует совершенствования теории и методов расчета [1–6]. Существующие программные комплексы учитывают в расчетах различные виды нелинейности, но вместе с тем они не дают возможность инженеру управлять расчетом с учетом постоянно изменяющихся параметров системы и оценивать полученные результаты с экспериментальными данными, так как использование различных компьютерных программных комплексов не позволяет пользователю видеть алгоритмы расчета и промежуточные результаты. Большинство компьютерных программ используют метод конечных элементов, который имеет различные варианты реализации тех или иных особенностей работы конструкции. Это требует от инженера-строителя глубокого теоретического, практического анализа поведения системы и правильного выбора методов решения.

Самым распространенным строительным материалом является железобетон, который представляет собой композитный материал. В количественном отношении свойства деформаций



бетона и арматурной стали существенно отличаются друг от друга [3–4]. Сложный характер перераспределения напряжений между арматурой и бетоном по мере роста усилий и во времени существенно затрудняет исследование и расчет железобетонных конструкций. Недостатки упруго-линейной постановки привели к созданию разных методов расчета железобетонных конструкций.

В статье исследовано напряженно-деформированное состояние (НДС) несущих элементов каркасного здания (рис.1) с учетом физической нелинейности бетона и арматуры и развития деформаций ползучести бетона при длительном нагружении.

Для старого бетона секущий модуль упругости  $E'$  можно принять в виде

$$E_c = E' = E(1 - \omega(\varepsilon_i)), \quad (1)$$

где  $\omega(\varepsilon_i)$  имеет различную зависимость. При квадратичной зависимости она имеет вид

$$\omega(\varepsilon_i) = 0,111 \left( \frac{E}{R_b} \right)^2 \varepsilon_i^2.$$

В (1)  $E$  – модуль упругости;  $\varepsilon_i$  – интенсивность линейной деформации;  $\sigma_i$  – интенсивность напряжений,  $R_b$  – расчетное напряжение. Согласно основной предпосылке нелинейной теории упругости, а также теории малых упругопластических деформаций при простом нагружении [1–4], связь интенсивности напряжений с интенсивностью деформаций для каждой точки тела при сложном напряженном состоянии принимается такой же, как связь осевого напряжения с деформацией удлинения при простом растяжении тела, т. е.

$$\sigma_i = E' \varepsilon_i, \quad (2)$$

где  $E'$  – секущий модуль деформации 1-го рода. При простом нагружении, в условиях малых деформаций, это выражение дает возможность использования физических уравнений в форме зависимостей Генки [3].

Физические соотношения при нелинейно-упругом деформировании материала конструкции на основе деформационной теории пластичности принимают вид [6]

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu^2} [\varepsilon_x^z + \mu \varepsilon_y^z - \omega(\varepsilon_i)(\varepsilon_x^z + \mu \varepsilon_y^z)]; \quad \sigma_y = \frac{E}{1 - \mu^2} [\varepsilon_y^z + \mu \varepsilon_x^z - \omega(\varepsilon_i)(\varepsilon_y^z + \mu \varepsilon_x^z)];$$

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1 + \mu)} (\gamma_{xy}^z - \omega(\varepsilon_i) \gamma_{xy}^z). \quad (3)$$

Рассматривается трехэтажное административное здание с размерами в плане 12x30 м (см. рис. 1). Конструктивная схема здания – монолитный железобетонный каркас. Шаг колонн в продольном и поперечном направлениях – 6 м. Высота этажа – 3 м. Колонны квадратного сечения – с размерами 40x40 см, ригели прямоугольного сечения – 35x50(h) см. Плиты перекрытий и покрытия из монолитного железобетона толщиной 20 см. Класс бетона для всех конструкций – В25. Фундаменты монолитные, столбчатые.

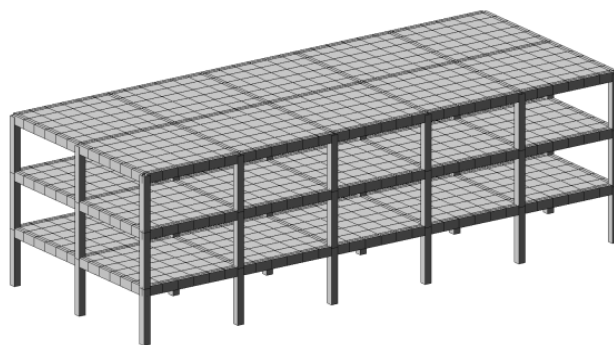


Рис. 1. Расчетная схема здания

Рассмотрены 4 модели деформирования, определяющие зависимость между напряжениями и деформациями: 1 – линейная; 2 – экспоненциальный закон; 3 – кусочно-линейный и 4 – ползучесть бетона. Физическая нелинейность бетона и арматуры представлена на рис. 2–4.

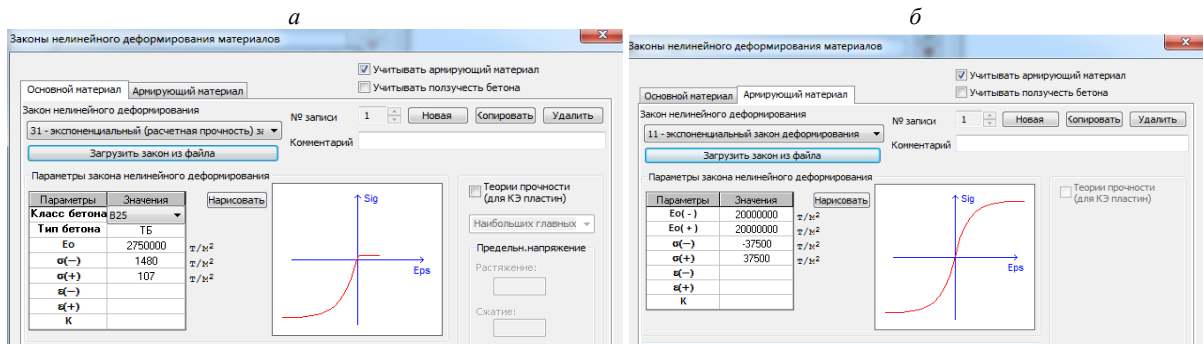


Рис.2. Экспоненциальный закон деформирования; а – бетон; б – арматура

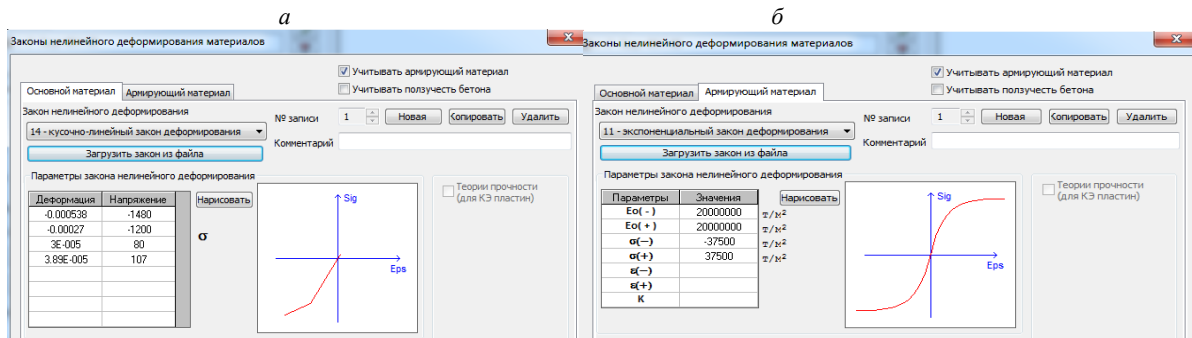


Рис.3. Кусочно-линейный закон деформирования; а – бетон; б – арматура

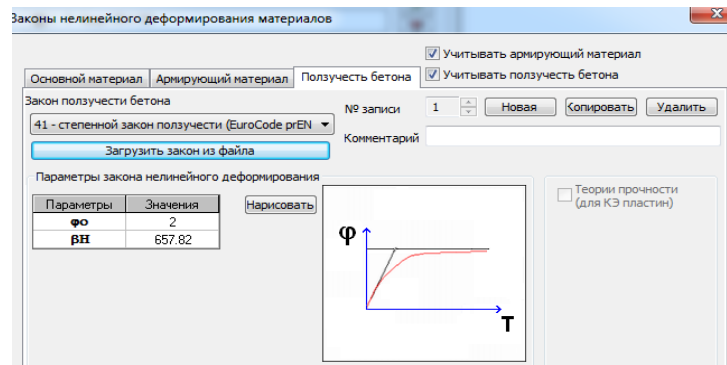


Рис.4. Ползучесть бетона

Таблица 1

Значения усилий и перемещений в сечениях средних и крайних колонн 1-го этажа

№ элемента	N, т	Mz, тм	Qz, т	X, мм	Y, мм	Z, мм
<b>Упругое решение</b>						
173	-140.0	0.04	0.04	-0.0033	-0.38	-2.98
713	-92.0	0.043	0.027			
<b>Экспоненциальный закон</b>						
173	-95.80	0.55	0.45	-0.97	-2.21	-12.1
713	-44.6	4.5	2.63			
<b>Кусочно-линейный закон</b>						
173	-96.2.0	0.15	0.46	-0.344	-0.754	-44.3
713	-43.8	2.25	1.47			
<b>Ползучесть бетона</b>						
173	-43.9	-0.03	0.01	-0.966	-2.21	-121.0
713	-25.5	0.17	0.09			

Численный расчет проведен с помощью КП-Лиры 9.10 [7]. В расчете использовано поэтапное внешнее нагружение с учетом изменения модуля мгновенной упругости бетона и арматуры и с учетом развития в бетоне деформации ползучести [5, 7]. Результаты расчетов для наиболее нагруженных элементов системы представлены в табл. 1–2. В табл. 1 представлены значения продольных и поперечных сил, изгибающих моментов и линейных перемещений (X,Y,Z) для наиболее за-

груженных средних и торцовых колонн 1-го этажа. Нагрузки взяты из СНИП. Номера элементов 179, 713 соответствуют верхнему сечению указанных колонн.

В табл. 2 представлены значения максимальных внутренних усилий и перемещений для средних плит перекрытия 2-го этажа в направлении оси ОХ. Номера соответствующих конечных элементов – 726 и 750. Результаты табл. 2 относятся к шарнирному опиранию плиты. При увеличении жесткости опирания плит усилия в них уменьшаются почти в 2 раза, а перемещения – почти в 3 раза.

Таблица 2

**Значения максимальных внутренних усилий и перемещений для средних плит перекрытия 2-го этажа в направлении оси ОХ**

№ элемента	$N_x$ , т	$T_{xy}$ , т	$M_x$ , тм	$Q_x$ , т	$N_y$ , т	X, мм	Y, мм	Z, мм
Упругое состояние								
726	55.67	17.70	-0.85	-1.75	32.50	-0.031	-0.037	-2.79
750	-3.09	0.80	-0.73	-1.30	-21.86	-0.02	-0.02	-0.86
С учетом физической нелинейности								
726	72.06	9.29	-2.42	-5.09	25.83	-0.049	-0.042	-7.94
750	-3.02	0.40	-0.50	-0.70	-29.30	-0.052	-0.052	-2.43

Таким образом, с учетом физической нелинейности усилия и перемещения значительно изменяются в сравнении с линейной теорией, причем степень влияния нелинейности зависит от принятой физической модели. Изгибные усилия в колоннах наиболее существенны при экспоненциальной зависимости напряжений от деформаций. В плитах перекрытий наблюдается перераспределение усилий в сторону увеличения изгибных усилий. Наиболее полно отражает процесс деформирования модель с физической нелинейностью на основе аппроксимации экспериментально полученных диаграмм деформирования для бетона и стали в отдельности. Реальное поведение конструкций под нагрузкой дает возможность выявить резервы снижения их материалоемкости и повышения несущей способности системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Улитин В. В. Физически нелинейный анализ устойчивости конструкций. Спб.: ГИОРД, 2007. – 96 с.
- [2] Солдатов В. И., Хомяк В. П. Напряженно-деформированное состояние и прочность железобетонной колонны. // Строительная механика и расчет сооружений. М., 2013. №2(247). С. 11–17.
- [3] Ермакова А. В. Особенности нелинейного расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям с помощью МДКЭ // Строительная механика и расчет сооружений. М., 2013. №2(250). С. 65–70.
- [4] Шейн А. И. Расчет монолитных железобетонных каркасов с учетом последовательности возведения, физической нелинейности и ползучести бетона // Строительная механика и расчет сооружений. М., 2012. №5(244). С. 64–69.
- [5] Ермакова А. В. Дополнительные нагрузки для нелинейного расчета железобетонных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. М., 2010. №6(233). С. 30–35.
- [6] Агапов В. П., Минаков С. А., Бардышева Ю. А. Учет физической и геометрической нелинейности в расчетах железобетонных плит и оболочек переменной толщины методом конечных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. М.: 2010. №5(232). С. 62–66.
- [7] Достанова С. Х., Кубейсинов А. С. Эффект физической нелинейности при расчете плит покрытий и перекрытий // Сб. труд. ИМНПК «Проблемы механики и строительства транспортных сооружений». Алматы: Изд. КаздорНИИ, 2015. С. 393–396.

Казахская головная архитектурно-строительная академия

Дата поступления  
3.06.2016

**И.Н. Дюсембаев, С.Х. Достанова. Материалнинг чизиқсизлигини ҳисобга олган ҳолда конструкцияларнинг юк кўтарувчи элементларини ҳисоблаш**

*Темир бетон конструкцияларнинг юк кўтарувчи элементларининг физик чизиқсизликни ҳисобга олувчи турли моделлари кўриб чиқилган. Сонли ҳисоблаш натижалари келтирилган, бетон ва арматуранинг турли деформацияланиш диаграммалари учун конструкция элементларининг кучланганлик деформацияланганлик ҳолатини ўзгариши баҳоланган.*

**I.N. Dyucembaev, S.H. Dostanova. Calculation of bearing elements structures taking into account the of non-linear material properties**

*Various models bearing elements of reinforced concrete structures taking into account the physical nonlinearity are considered. The results of the numerical calculations and the estimation of stress-strain state of structural elements under different strain diagrams of concrete and reinforcement are presented.*

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА НА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ КОНСОЛИ**

Рассмотрим телескопическую конструкцию, состоящую из одинаковых, вложенных друг в друга трубчатых элементов (рис. 1). Сечение элементов может быть любым. Первый элемент ( $k=1$ ) закреплен с возможностью скольжения в неподвижной обойме (на рис.1 не показана), на конце последнего ( $k=n$ ) закреплен груз. Масса груза  $m$  достаточно велика, что позволяет в первом приближении не учитывать в задаче о колебаниях массу трубок-элементов. Конструкция раздвигается так, что все элементы выдвигаются на одну и ту же величину.

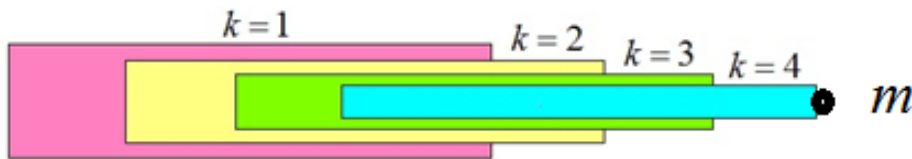


Рис. 1. Консоль при  $n=4$

Предполагается, что под действием вертикальной силы, создаваемой массой груза, элемент с номером  $k$  опирается в двух точках на элемент  $k-1$ , создавая реакцию  $N_{k,1}$  на своем левом конце и  $N_{k,2}$  на правом. Со стороны элемента  $k+1$ , вложенного в элемент  $k$ , действуют в свою очередь реакции  $N_{k+1,1}$  и  $N_{k+1,2}$  (рис. 2). Длина элементов –  $l$ , длина вложенной части –  $a < l$ . При этом на крайнем правом (концевом,  $k=n$ ) элементе  $N_{n+1,1}=0$ ,  $N_{n+1,2}=0$ . Для сил, действующих на элемент  $k$  (рис. 3), запишем уравнения равновесия. Если пренебречь поперечным размером сечения, то это позволит не учитывать в уравнениях продольные силы взаимодействия элементов (на рис. 2, 3 они не изображены). Имеем следующую систему:

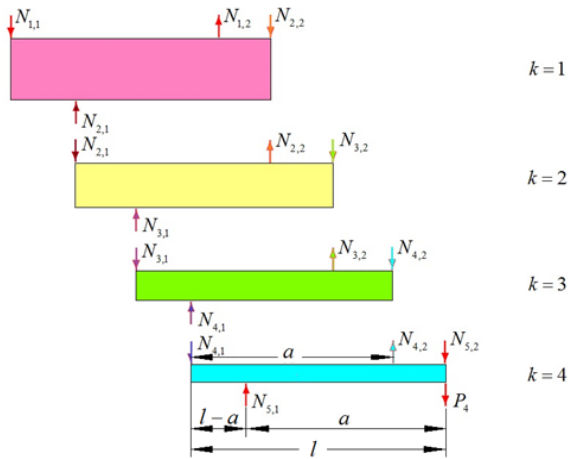


Рис. 2. Силы, действующие на элементы

$$\sum F_y = -N_{k,1} - N_{k+1,2} - P_k + N_{k+1,1} = 0,$$

$$\sum M_A(F_y) = N_{k+1,1}(l-a) + N_{k,2}a - (N_{k+1,2} + P_k)l = 0.$$

Здесь сила  $P$  приложена только к последнему элементу:  $P_k=0$ ,  $k=1, \dots, n-1$ ,  $P_n=P$ . Решение системы  $2n$  уравнений получается методом индукции, развитым для ферм [1,2], с применением операторов `rgf_findrecur` и `rsolve` системы компьютерной математики Maple [3]. Удастся получить следующее общее выражение:

$$N_{k,i} = P_k [(i-n+k-2) + (l/a)(n-k+1)],$$

где  $k=1, \dots, n$ ,  $i=1, 2$ .

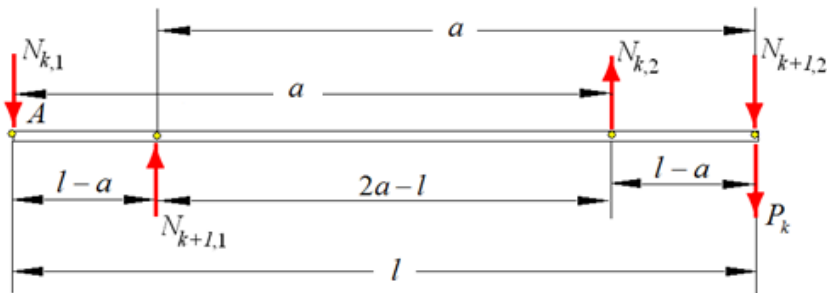


Рис. 3. К выводу уравнений равновесия

Прогиб конца консоли под действием единичной силы, определяющий коэффициент податливости конструкции, находим по формуле Максвелла – Мора

$$\delta_{1,1} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{EJ_k} \int M_k^2 ds,$$

где  $M_k(s)$  – распределение моментов на элементе  $k$  (рис. 4).

Учитывая, что  $m_{1,k}=N_{k,1}(l-a)$ ,  $m_{2,k}=(P_k+N_{k+1,2})(l-a)$ , методом индукции получаем общий вид коэффициента податливости

$$\delta = (a-l)^2 (A_n a^3 + B_n l^3 + E_n a^2 l + F_n a l^2) / (3a^2 EJ),$$

где коэффициенты  $A_n=2n(2n-1)(n-1)/3$ ,  $B_n=-n(n-1)(n+1)/3$ ,  $E_n=-n(6n^2-5n-3)/2$  получены методом индукции при  $a>l/2$ . При  $a<l/2$  эти же коэффициенты имеют следующий вид:

$$A_n=-2n(2n-1)(n-1)/3, B_n=n^3, E_n=n(11n-5)(2n-1)/6, F_n=-n(5n-1)(4n-1)/6.$$

Разница в выражениях объясняется тем, что для различных соотношений  $a$  и  $l$  взаимное расположение реакций различается: меняется порядок реакций  $N_{k+1,1}$  и  $N_{k,2}$ , что приводит к изменению эпюры моментов и длин соответствующих участков.

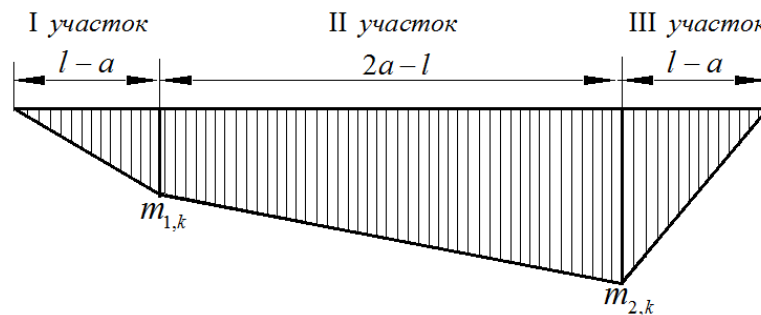


Рис. 4. Эпюра изгибающих моментов  $k$ -го элемента,  $a>l/2$

Уравнение колебаний груза [3,4] имеет вид

$$m\ddot{X} + CX = 0,$$

где  $m$  – масса груза;  $C$  – жесткость  $C=1/\delta$ .

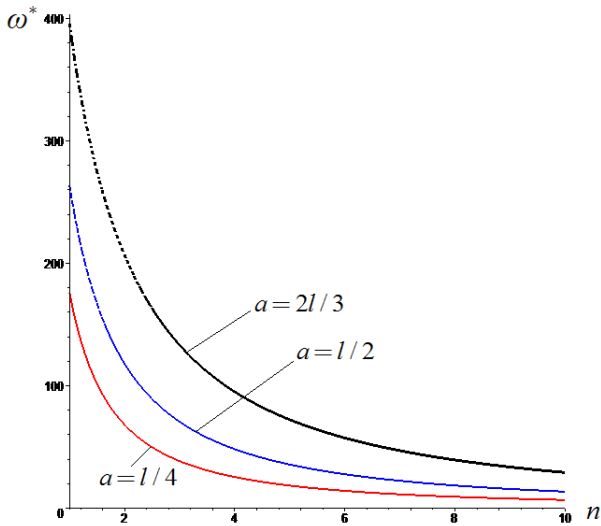


Рис. 5. Зависимость от  $n$

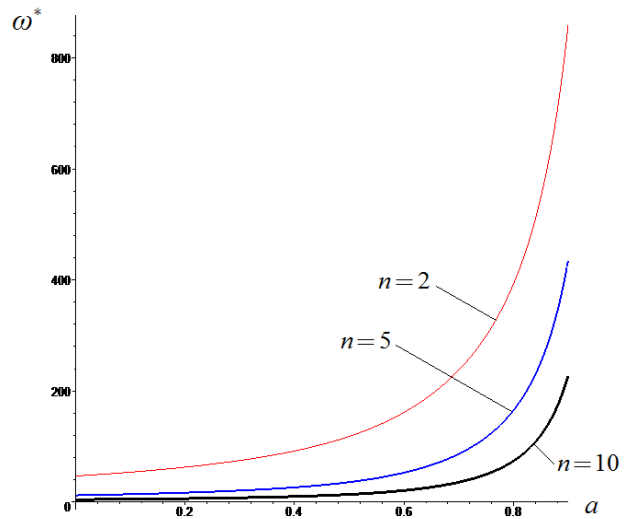


Рис. 6. Зависимость от  $a$

Переменная  $X(t)$  определяет положение груза. Частота колебаний имеет вид

$$\omega = \sqrt{1/(m\delta)}.$$

На рис. 5 построена зависимость частоты колебаний ( $c^{-1}$ ) от числа элементов консоли при  $E=2 \cdot 10^5$  МПа (сталь) в предположении, что сечения элементов представляют собой тонкостенные цилиндры с моментом инерции

$$J = \frac{\pi D^4}{64} \left( 1 - \frac{d^4}{D^4} \right),$$

где  $D$  и  $d$  – внешний и внутренний диаметры цилиндров, равные  $D=0.1$  м,  $d=0.08$  м,  $m=100$  кг,  $l=1$  м,  $EJ=579.623 \cdot 10^3$  Нм<sup>2</sup>. На рис. 6 отражено изменение частоты в зависимости от степени раздвижения конструкции ( $a=0$  соответствует полностью раздвинутой системе).

Точное решение задачи колебаний груза на ферме методом индукции получено в [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кирсанов М. Н. Индуктивный анализ влияния погрешности монтажа на жесткость и прочность плоской фермы // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 5(31). С. 38–42.
- [2] Dong X., Kirsanov M. N. The dependence of the deflection of the truss from the position of the load for an arbitrary number of panels // Вестник научных конференций. 2016. № 1–4 (5). С. 6–7.
- [3] Кирсанов М. Н. Maple и Maple. Решение задач механики. СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 512 с.
- [4] Кирсанов М. Н. Решения задач по теоретической механике: Учебное пособие. М.: Инфра-М, 2015. – 216 с.
- [5] Канатова М. И. Частотное уравнение и анализ колебаний плоской балочной фермы // Trends in Applied Mechanics and Mechatronics. М.: Инфра-М, 2015. Т. 1. С. 31–34.

Национальный исследовательский университет,  
Московский энергетический институт, Россия

Дата поступления  
23.05.2016

*Дун Сяомэн, М.Н. Кирсанов. Телескоп консолида юкнинг тебранишини аналитик ҳисоблаш*  
*Трубкасимон элементлардан ихтиёрый сонидан ташиқил топган консолни мустаҳкамлигини компьютер*  
*математикасида индукция методини қўллаб аналитик ифодаси топилган. Тебраниш частотасини конструкция*  
*элементлари сонига боғлиқлик графикалар қурилган.*

*X.Dong, M.N. Kirsanov. Analytical calculation of fluctuations of the cargo at the top of the console*  
*By the method of induction with the use of a computer algebra system an analytical expression of the stiffness of the*  
*console, consisting of an arbitrary number of tubular elements is obtained. A graph of the dependence frequency - number of*  
*items is built.*

УДК 691

**В.Т. ЕРОФЕЕВ, А.С. ТЮРЯХИН, И.В. СМИРНОВ, И.Н. МАКСИМОВА**

## **ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КАРКАСНЫХ КОМПОЗИТОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Новые химические и биологические технологии, химизация народного хозяйства привели к бурному росту числа предприятий с агрессивными технологическими средами. Поэтому задача увеличения объемов выпуска долговечных и эффективных материалов композиционного типа, способных обеспечить длительную и надежную работу конструкций и сооружений в агрессивных средах, является чрезвычайно актуальной. Радикальным способом повышения долговечности композиционных материалов и изделий является применение композитов на полимерном вяжущем. К конструкционным композитам подобного типа относятся полимербетоны. В строительной отрасли наибольшее применение находят полимербетоны на эпоксидных связующих [1]. Благодаря комплексу благоприятных физико-механических свойств и долговечности они нашли применение для изготовления конструкций, покрытий полов, различных защитных материалов [2–7].

Несмотря на всевозрастающие темпы использования в строительстве бетонов с применением полимеров, некоторые проблемы их долговечности в условиях химических и биологических воздействий интенсивных нагрузок остаются малоизученными. Современная технология приготовления полимербетонов и изделий на их основе базируется на общепринятой технологии приготовления цементных бетонов и изделий, что приводит к большому расходу дорогостоящих синтетических смол. Трудоемкими остаются операции по изготовлению и укладке полимербетонов, которые особенно трудно выполнять в случае высоковязких составов.

Перспективным направлением дальнейшего развития строительных композитов представляются получение и внедрение материалов каркасной структуры. Технология их изготовления включает предварительное создание оптимальных смесей заполнителей и склеивание зерен друг с другом с последующим заполнением пустот полученного каркаса матрицей [8]. Это позволяет получать высоконаполненные каркасные композиты, облегчаются их изготовление и укладка, появляется возможность создавать на их основе материалы с заданными свойствами и изделия различного назначения.

Полимербетонные изделия очень часто во время эксплуатации подвергаются воздействию динамических нагрузок, приводящих, например, к преждевременному разрушению дорожных и аэродромных покрытий, полов промышленных зданий с тяжелым режимом работы и т. д.

Настоящая статья посвящена исследованию ударной прочности полимербетонов каркасной структуры. В качестве критерия ударной прочности полимерных композитов каркасной структуры приняты удельная ударная вязкость и демпфирующие свойства. Стойкость на удар определялась испытанием образцов – призм размером 4x4x16 см на маятниковом копре. Демпфирующая способность является одним из показателей, характеризующих способность материала также сопротивляться динамическим нагрузкам. Материалы с высокими демпфирующими свойствами способствуют уменьшению амплитуды колебания, смягчают удары и тем самым приводят к снижению напряжений в конструкциях. Демпфирующая способность оценивалась логарифмическим декрементом колебаний (ЛДК), который определяли по ширине резонансного пика консольных образцов размером 4x4x16 см по известной методике [9]. Физико-механические свойства и в том числе стойкость материалов к воздействию динамических нагрузок можно регулировать на уровнях микро- и макроструктуры [8,10–14].

Результаты испытаний на удар каркасных композитов на различных каркасах и полиэфирной матрице приведены в таблице.

Результаты испытания, кДж/м<sup>2</sup>

Заполнитель	Ударная вязкость каркасных полимербетонов на каркасах				Ударная вязкость полимербетона обычной структуры
	эпоксидном	полиэфирном	цементном	битумном	
Гранитный щебень	4.20	2.10	1.90	2.00	1.30
Керамзит	4.73	2.31	2.15	2.20	1.45

Ударная вязкость каркасного полимербетона оказалась намного выше, чем полимербетона обычной структуры. Лучшие результаты получены в случае применения керамзитового заполнителя вследствие более высокой его адгезии со связующими. Повышение ударной вязкости у композитов каркасной структуры происходит, вероятно, в силу следующих причин: каркас в полимербетоне создает цепочное расположение связанных заполнителей, перераспределяющих между собой приложенную нагрузку; уменьшаются структурные напряжения на границе раздела заполнитель – связующее, приводящие к образованию микротрещин.

Резкое повышение удельной ударной вязкости каркасных композитов достигается при введении в их состав армирующих волокон, которые усиливают совместную работу каркаса и матрицы [15].

Влияние дисперсной арматуры на удельную ударную вязкость каркасных композитов определялось на полиэфирных полимербетонах с гранитными заполнителями. Варьировали количество и длину армирующих волокон. Опыты показали, что оптимальное их содержание составляет 0.5 – 1.5 % по массе (рис. 1).

Проведены исследования демпфирующих свойств каркасных бетонов на основе различных связующих и заполнителей. Составы бетонов и результаты их испытания приведены на рис. 2. Демпфирующие свойства бетонов зависят от природы и свойств матрицы и заполнителей, причем в большей степени величина ЛДК определяется свойствами матрицы, заполняющей пустоты каркаса, характеристиками клея каркаса, а также

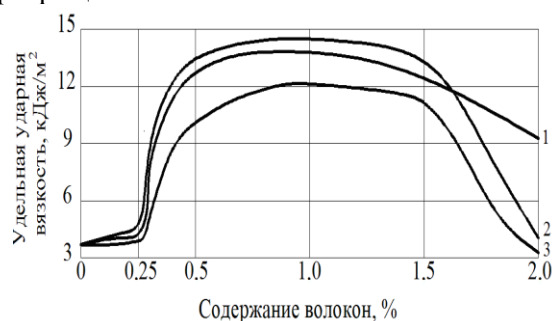


Рис. 1. Зависимость изменения удельной ударной вязкости дисперсно-армированных каркасных композитов от содержания волокон и их длины, равной (см): 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3

условиями взаимодействия на границах разделов заполнитель – клей каркаса; клей каркаса – матрица.

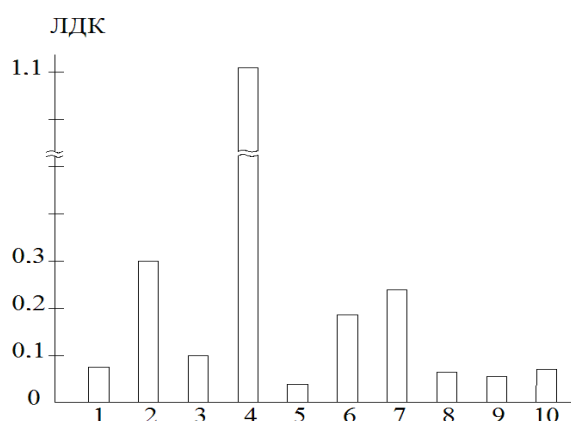


Рис. 2. Демпфирующие свойства каркасных композитов в зависимости от состава: 1 – ЭД-20 и кирпичный бой; 2 – ПН-1 и кирпичный бой; 3 – цемент и кирпичный бой; 4 – битум и кирпичный бой; 5 – клей каркаса цемент, заполнитель кирпичный бой; матрица ЭД-20; 6 – клей каркаса ПН-1, заполнитель кирпичный бой, матрица ЭД-20; 7 – клей каркаса битум, заполнитель кирпичный бой, матрица ЭД-20; 8 – гранитный заполнитель и ЭД-20; 9 – керамзит и ЭД-20; 10 – термолит и ЭД-20

Лучшим заполнителем с точки зрения повышения демпфирующих свойств бетонов является термолит, далее следуют гранитный щебень и керамзит. Результаты исследования показывают малую способность цементных бетонов поглощать колебания. По этой причине они малопригодны для изготовления автодорожных покрытий, подвергающихся ударным нагрузкам. Например, опыт эксплуатации автомобильных дорог свидетельствует, что вибрация цементно-бетонных покрытий приводит к перемещению несвязанных компонентов основания, нарушению ровности отдельных плит покрытий и их преждевременному разрушению. Низкой демпфирующей способностью обладают и эпоксидные полимербетоны. Цементные бетоны и эпоксидные полимербетоны относятся к хрупким материалам. Для совершенствования их демпфирующих свойств необходимо предусматривать мероприятия по улучшению вязкоупругих характеристик [16,17].

Исследованиями установлено резкое повышение демпфирующих свойств цементных композиций при введении в их состав тонкодисперсных ОПФ (рис. 3).

Логарифмический декремент затухания колебаний также повышается при введении дисперсной арматуры. Добавление в композиции угольных волокон в количестве 2.5 % от массы цемента увеличило демпфирующие свойства образцов в 1.3 раза.

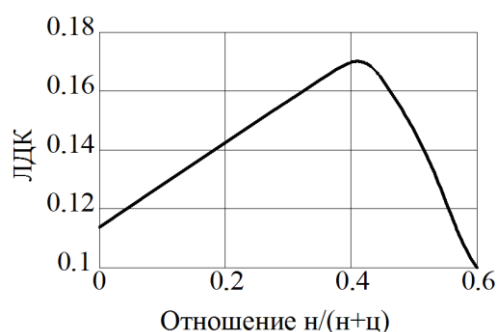


Рис. 3. Зависимость изменения демпфирующих свойств равноподвижных цементных композитов от содержания ОПФ

Включение наполнителей в полимерные композиции привело к снижению их демпфирующих свойств. Так, при введении в полиэфирные композиции на смоле ПН-15 порошков графита и портландцемента ЛДК снизился соответственно в 1.9 и 1.7 раза по сравнению с ненаполненной композицией, а эпоксидная смола Эпилек уменьшила демпфирующие свойства в 1.3 и 1.6 раза при наполнении соответственно портландцементом и кварцевым песком.

Испытаниями также установлено, что при применении полиэфирных и битумных связующих вместо цементных и эпоксидных ЛДК возрастает соответственно в 3.8 и 14.4 раза.

Динамические свойства каркасных бетонов улучшаются при склеивании зерен в каркасе упругими и вязкоупругими клеями. Так, при применении для склеивания каркаса полиэфирных и битумных клеев вместо цементных связующих демпфирующие свойства повышаются соответственно в 3.6 и 5.3 раза (см. рис. 2).



## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ерофеев В.Т., Соколова Ю.А., Богатов А.Д. Эпоксидные полимербетоны, модифицируемые нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминопроизводственными соединениями. М.: 2012.
- [2] Смирнов В.Ф., Светлов Д.А., Казначеев С.В., Богатов А.Д., Морозов Е.А., Васильев О.Д., Макаревич Ю.М., Спирин В.А., Пацюк Н.А. Защита зданий и сооружений от микробиологических повреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина. Спб. 2009.
- [3] Баженов Ю.М. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности (основы теории, методы расчета и технологическое проектирование) / Баженов Ю.М., Король Е. А., Ерофеев В.Т., Митина Е. А. М.: АСВ, 2008. – 320 с.
- [4] Лазарев А.В., Казначеев С.В., Ерофеев В.Т., Бредихин В.В., Худяков В.А. Оптимизация составов наполненных эпоксидных композитов по прочностным показателям / Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: «Техника и технологии». 2012. №2–3. С. 235–239.
- [5] Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Кондакова И.Э., Казначеев С.В., Богатов А.Д. Биостойкость эпоксидных полимербетонов, модифицированных каменноугольной смолой / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. №7–2. С. 310–325.
- [6] Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Жарин Д.Е. Основы формирования структуры композиционных материалов. Саранск. Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – 120 с.
- [7] Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Скачков Ю.П. Прочность и параметры разрушения цементных композитов / Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 360с.
- [8] Ерофеев В.Т. Каркасные строительные композиты: Автореф. дис.... докт. техн. наук. М.: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, 1993. –52 с.
- [9] Писаренко Г.С. Рассеяние энергии при механических колебаниях. Киев. Изд-во АН УССР, 1962. – 436 с.
- [10] Бобрышева А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем. Спб.: Наука, 2012. – 176 с.
- [11] Ерофеев В.Т., Твердохлебов Д.А. Фурфуролацетоновые композиты каркасной структуры / Твердохлебов Д.А., Тармосин К. В., Богатов А. Д., Леснов В.В., Коняшин А.А., Казначеев С.В. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2008. – 220 с.
- [12] Ерофеев В.Т. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность) / Ерофеев В.Т., Баженов Ю.М., Калгин Ю.И. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2009. – 276 с.
- [13] Ерофеев В.Т. Силикатные и полимерсиликатные композиты каркасной структуры роликового формирования / Ерофеев В.Т., Завалишин Е. В., Богатов А. Д., Асташов А. М., Коротаев С.А., Никитин Л.В. М.: АСВ, 2009. – 158 с.
- [14] Леснов В.В., Борискин А.С., Ерофеев В.Т., Коняшин А.А. Дисперсно-армированные композиты для дорожных покрытий и транспортных сооружений // Транспортное строительство. 2007. №5. С.24–27.
- [15] Ерофеев В.Т., Римшин В.И., Смирнов В.Ф. Армированные каркасные композиты для защиты зданий и сооружений // Под общей ред. Ерофеева В.Т., Римшина В.И., Смирнова В.Ф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 360 с.
- [16] Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н., Троянов И.Ю., Володин В.М., Суздальцев О.В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов / Строительные материалы. 2014. №5. С. 88-91.
- [17] А. с. 1724648 СССР, М. кл. С 04 В 0/00,26/02. Способ изготовления композиционного материала / Селяев В.П., Соломатов В. И., Ерофеев В.Т. и др. № 4849497/05; Заявл. 10.07.90; Опубл. 17.04.92 // Открытия. Изобретения. 1992. № 13. С. 90.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарёва, Саранск, Россия

Дата поступления  
20.05.2016

***В.Т. Ерофеев, А.С. Тюряхин, И.В. Смирнов, И.Н. Максимова. Каркасли композитларни динамик юкланишлар таъсиридаги ҳолатини ўрганиши***

*Ушбу мақола каракас структурали полимербетоннинг зарбага чидамлилиги тадқиқотлариға бағишланган. Каркас стуртурали полимер композитларнинг зарбага чидамлилиги критерияси сифатида, солиштирма зарба қовушқоқлиги ва демпфирловчи хоссаси қабул қилинган. Зарбага чидамлилик 4x4x16 см ўлчамдаги призма шаклидаги наъмунани маятникли копрада синаб аниқланди.*

***V.T. Yerofeyev, A.S. Tyuryahin, I.V. Smirnov, I.N. Maximova. Studying the behavior of composite frame under the action of dynamic loads***

*This article is devoted to the study of impact strength polymer concrete frame structure. As a criterion of the impact strength of polymer composites frame structure adopted specific impact strength and damping properties. Persistence of the impact test samples was determined - the size 4x4x16 cm prisms on the pendulum.*

## МЕТОДЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ АКСЕЛЕРОГРАММ МЕСТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В последние десятилетия в теории сейсмостойкого строительства вновь большое внимание стали уделять моделям воздействия, учитывающим региональные особенности сейсмической опасности и построенным для конкретных территорий и площадок. Отчасти это связано с внедрением на территории СНГ европейских строительных норм (Еврокодов), в частности Еврокода 8. Наиболее простая возможность для этого – использовать инструментальные записи землетрясений, записанных в максимально приближенных к городу сейсмогенных зонах. Затем выполнить цифровое моделирование сейсмического воздействия случайным процессом [1–5].

Наиболее заметным сейсмическим событием 90-х годов прошлого века для региона г. Алматы является Байсорунское землетрясение 12 ноября 1990 г.

Землетрясение произошло на Северном Тянь-Шане в пределах высокоактивной в сейсмическом отношении и весьма опасной для г. Алматы Кунгей-Зайлийской зоны. В Алматы землетрясение проявилось с интенсивностью 5–6 баллов. Магнитуда землетрясений:  $M = 6,3$ . Глубина очага:  $H = 15–20$  км [1].

Максимальная интенсивность в эпицентре – 8 баллов.

Имеется двухкомпонентная запись землетрясения, зафиксированная станцией Курменты на расстоянии от очага землетрясения 35 км. Шаг цифровки – 0.008 с. Указанная запись может быть использована для разработки модели сейсмического воздействия для Алматинского региона.

На рис.1 приведен спектральный график, полученный при величине декремента колебаний 0.3.

Выражение для корреляционной функции примем в виде отрезка ряда [2,3]

$$K(\tau) = \sum_{i=1}^N A_i e^{-\alpha_i \tau} \cos(\omega_i \tau), \quad (1)$$

где  $A_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\omega_i$  – определяемые параметры;  $N$  – количество членов ряда.

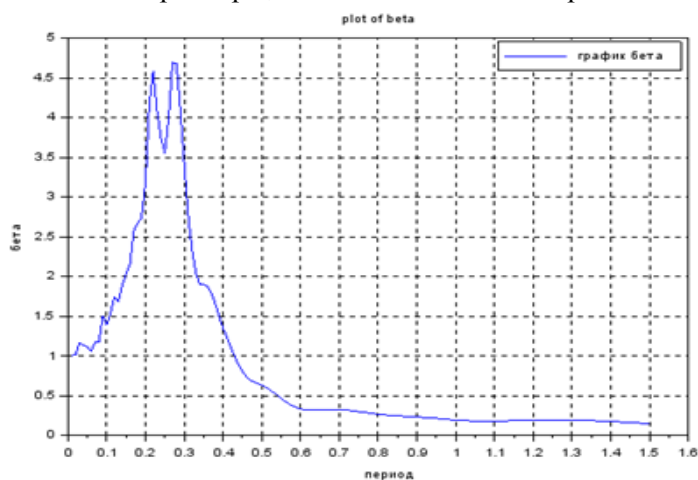


Рис.1. Спектральная кривая (компонента N-S)

Расчеты выполнялись с помощью пакета Curve Fitting Toolbox методом Левенберга–Марквардта с применением способов, устойчивых к выбросам в исходных данных. На рис.2 приведены результаты расчетов с помощью пакета Curve Fitting Toolbox параметров разложения (1) для случаев двухчленных аппроксимаций. Более сложный способ аппроксимации  $N=3$ , связанный с решением по сути 9 нелинейных уравнений, приводит к такому же результату, как и двухчленная аппроксимация.

Дальнейшее увеличение количества членов аппроксимации (1) нецелесообразно, хотя это может быть выполнено с помощью пакета Curve Fitting Toolbox. Аппроксимация (1) достаточно простая, что позволит разработать эффективные алгоритмы генерирования искусственных акселе-

программ, учитывающих местные особенности землетрясений.

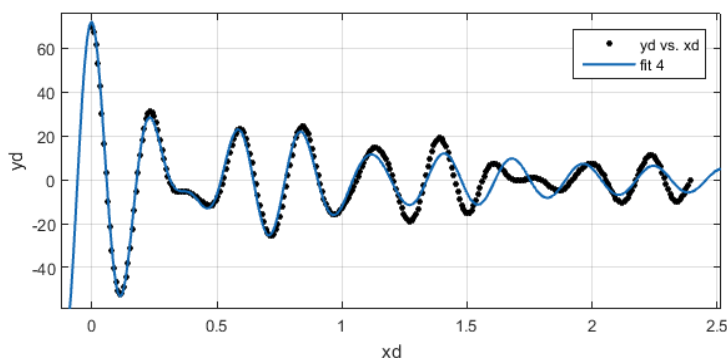


Рис. 2. Аппроксимирующая (N=2) и экспериментальная корреляционные функции

Известно, что при суммировании нескольких независимых стационарных нормальных случайных процессов образуется стационарный нормальный случайный процесс, корреляционная функция которого равна корреляционной функции слагаемых. Для генерирования независимых реализаций используются независимые между собой последовательности независимых нормальных случайных чисел.

В случае удержания двух членов ряда (1) можно записать

$$\begin{aligned} \xi_1[n] &= a_0^{(1)} x_1[n] + a_1^{(1)} x_1[n-1] + b_1^{(1)} \xi_1[n-1] + b_2^{(1)} \xi_1[n-2], \\ \xi_2[n] &= a_0^{(2)} x_2[n] + a_1^{(2)} x_2[n-1] + b_1^{(2)} \xi_2[n-1] + b_2^{(2)} \xi_2[n-2], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\xi_1[n]$ ,  $\xi_2[n]$  – дискретные реализации стационарного случайного процесса с одночленными корреляционными функциями;  $x_1[n]$ ,  $x_2[n]$  – независимые последовательности нормально распределенных случайных чисел;  $a_0^{(K)}$ ,  $a_1^{(K)}$ ,  $b_1^{(K)}$ ,  $b_2^{(K)}$  – коэффициенты, определяемые согласно [2] ( $K=1,2$ ).

Тогда дискретная реализация стационарного случайного процесса при  $N=2$  определится в виде суммы

$$\xi[n] = \xi_1[n] + \xi_2[n] \quad (3)$$

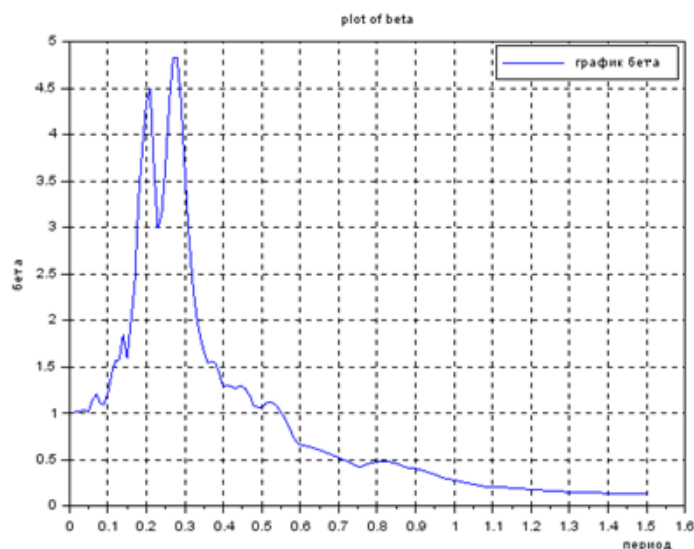


Рис. 3. Спектральная кривая при воздействии искусственной акселерограммы

На высокоуровневом языке системы компьютерной математики MATLAB разработаны программы и выполнены многочисленные расчеты. Искусственные акселерограммы генерируются с помощью расчетной формулы авторегрессии (скользящего среднего) – рекурсивной фильтрации. На рис.3 приведена спектральная кривая, вычисленная по одной из полученных искусственных акселерограмм. Понятно, что вычисления идут с некоторым разбросом, но почти все реализации двухгорбковые.

Отметим также, что расчеты выполнялись в предположении стационарности случайного

процесса без умножения, как сейчас принято на детерминированную огибающую, которых ныне предложено довольно много. В целом точность генерирования весьма удовлетворительная, если сравнить рис. 1 и 3.

Таким образом, предложенные алгоритмы генерирования искусственных акселерограмм могут быть использованы при применении новой нормативной базы Республики Казахстан на основе Еврокодов для расчета надежности строительных конструкций зданий и сооружений с учетом местных особенностей сейсмического воздействия для Алматинского региона. Критерий близости спектральных кривых реальных и искусственных акселерограмм может быть использован в схемах Монте–Карло цифрового моделирования динамики линейных и нелинейных систем при сейсмическом воздействии.

Следует отметить также предложенное В.И.Чернецким неканоническое разложение случайных функций в виде [6], которое также может быть эффективно применено при аппроксимации корреляционной функции (1).

Таким образом, аппроксимация (1) хорошо приближает экспериментальные корреляционные функции стационарного случайного процесса. Два члена ряда (1) являются достаточной аппроксимацией экспериментальной корреляционной функции. Спектральные кривые по рис.1 и рис.3 достаточно близки. Пакет Curve Fitting Toolbox системы компьютерной математики MATLAB является удобным вычислительным средством обработки экспериментальных данных, включая корреляционные функции акселерограмм сильных землетрясений. Алгоритм рекурсивной фильтрации позволяет генерировать реализации узкополосного гауссовского случайного процесса (искусственные акселерограммы) с достаточной для практических расчетов точностью в пределах 10 – 15% по спектральной характеристике. Способ весьма удобен для расчетов с применением систем компьютерной математики MATLAB, SCILAB и MAPLE. Искусственные акселерограммы могут быть использованы:

- при детерминированных и вероятностных расчетах на сейсмические воздействия с применением новой нормативной базы на основе Еврокодов, в том числе для оценки надежности строительных конструкций зданий и сооружений как вероятности безотказной работы;
- при расчетах по пункту 5.7 б) СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах» с применением инструментальных и синтезированных акселерограмм;
- при расчетах систем активной сейсмоизоляции различного типа, моделируемых нелинейными дискретными системами;
- при расчетах при составлении Специальных Технических Условий, разрабатываемых при проектировании зданий, габариты которых не соответствуют таблице 7.2 СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах», или иных случаях, регламентируемых документами новой нормативной базы СН РК EN на основе Еврокодов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Нурмагамбетов А., Сыдыков А. и др. Байсорунское землетрясение 12 ноября 1990 г. // Землетрясение в СССР в 1990 г. М.: ИФЗ РАН, 1996. С.36–39.
- [2] Лапин В.А. Моделирование сейсмического воздействия с учетом полиэкстремального характера // Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций. Вып. 16-17 (26-27), Алматы, 1990. С. 14–19.
- [3] Лапин В.А., Даугавет В.П., Девятых А.А. Уточнение параметров корреляционных функций местных землетрясений // Вестник АО КазНИИСА. 2014. № 11. С.27–31.
- [4] Лапин В.А. Корреляционный анализ акселерограмм с использованием СКМ MATLAB // Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций. Вып. 23 (33). Алматы. 2015. С. 233–239.
- [5] Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука, 1979. – 462 с.
- [6] Чернецкий А.И. Анализ точности нелинейных систем управления. М.: Машиностроение, 1968. – 248 с.

АО «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры», Алматы, Казахстан

Дата поступления  
02.06.2016

**С.Ержанов, В.Лапин. Бино ва иншоотларни ҳисоблаш учун маҳаллий зилзилаларнинг сунъий акселерограммаларини ишлаб чиқиш усули**

*Косинус экспоненциал йиғиндиларни корреляцион функция сифатида кўрсатилганлиги асосида, маҳаллий зилзилаларнинг сунъий акселерограммаларини ишлаб чиқиш усули таклиф қилинган. Аппроксимация параметрлари СКМ MATLABнинг Curve Fitting Toolbox пакети ёрдамида энг кам квадратлар усули асосида аниқланган. Сунъий акселерограммалар авторегрессия ҳисоблаш формулалари ёрдамида ишлаб чиқилади. Акселерограммаларнинг ишлаб чиқиш аниқлиги спектрал эри чизиқларни ҳисоблаб аниқланган.*

*S.Erzhanov, V.Lapin. Methods of generating artificial accelerograms local earthquakes for the calculation of buildings and structures*

*Method of generating artificial accelerograms of local earthquakes based on representation of correlation function as a sum of cosine-exponential summands is proposed. Approximation parameters are defined on the basis of least square method with the help of package Curve Fitting Toolbox СКМ MATLAB. Artificial accelerograms are generated by using calculation formula of autoregression (moving average). Generating accuracy is illustrated by calculation of spectral curves.*

УДК 624.012.35-624.012.45

**А.М. ЗУЛПУЕВ**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ, ОПЕРТЫХ ПО КОНТУРУ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ**

В настоящее время при определении несущей способности сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру многоэтажных зданий, методом предельного равновесия необходимо установление механизма возможных схем излома. Проведенные анализы схемы закрепления на опорах сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру построенных и проектируемых многоэтажных зданий, их расчеты и экспериментальные исследования, предопределили следующие подходы к определению механизмов возможных схем излома сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру при воздействии внешних нагрузок:

- разбивание сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, на участки с максимальными размерами при условии отсутствия опор внутри элемента – контур таких участков образуется отрицательными линиями излома;

- рассматривание каждого определенного участка как отдельной плиты с соответствующими условиями опирания по контуру;

- принятие за реальный из всех допустимых схем разрушения рассматриваемых участков того участка угла излома, который характеризуется наименьшей интенсивностью разрушающей нагрузки.

В некоторых случаях механизмы возможных схем излома бесспорны, а других достаточно принять к сравнению несколько возможных схем излома. Основными разновидностями механизма возможных схем излома участков сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, являются:

- механизм возможных схем излома «конверт», возникающий на участках, рассматриваемых как пластины, опертые по четырем сторонам или размерами на комнату;

- механизм возможных схем излома неполного «конверта», возникающий на местах, анализируемых как пластины, опертые по трем сторонам и свободной четвертой стороны;

- балочный механизм возможных схем излома, возникающий на участках, сведенных к пластинам, опертым по двум противоположным сторонам и на консолях;

- механизмы возможных схем излома участков трапецидальной конфигурации в плане;

- механизмы возможных схем излома участков полигональной формы.

Определение несущей способности сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, методом предельного равновесия сводится к решению расчетных формул для всех видов механизмов возможных схем излома участков с учетом специфик их опорных условий и конфигурации в плане.

Для предельной нагрузки соответствующие величины при различных механизмах возможных схем излома участков определяли из условия равенства нулю работы всех сил системы на виртуальных перемещениях [1].

Для оценки сборных железобетонных плит перекрытий, работающих в двух направлениях, принят метод предельного равновесия [2]. В стадии предельного равновесия сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру под нагрузкой, их плоская поверхность может рассматриваться как усеченная пирамида с высотой, равной максимальному прогибу плиты.

Для наших случаев сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, принят механизм возможных схем излома, как на рис. 1

$$A_g + A_Q = A_m, \quad (1)$$

где  $A_g$  – работа равномерно распределенной нагрузки  $g$  от собственного веса плиты, приложенной в пределах фигуры возможных схем излома;  $A_Q$  – работа сосредоточенных сил  $Q$ ;  $A_m$  – работа изгибающих моментов  $m$  по линиям пластических деформаций.

Работа внешних сил

$$A_g + A_Q = V + Q \cdot f, \quad (2)$$

где  $V$  – объем усеченной пирамиды продавливания с основаниями  $l_y \cdot [l_x/2 - (l_y \cdot \text{ctg}\alpha)/3]$  и высотой  $f$ , равной прогибу под нагрузкой  $Q$ .

В нашем случае

$$V = f \cdot l_y \cdot [l_x/2 - (l_y \cdot \text{ctg}\alpha)/3]. \quad (3)$$

Возможные схемы излома сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, при других схемах закрепления опоры и от воздействия внешней нагрузки могут быть приняты на основе широких опытов с железобетонными плитами, работающими в двух направлениях, с гибкой арматурой.

Работа внутренних сил может быть выражена как

$$A_Q = l_y \cdot [l_x/2 - (l_y \cdot \text{ctg}\alpha)/3] \cdot Q, \quad (4)$$

$$A_m = 4 \cdot m_y \cdot \cos^2\alpha \cdot (\text{tg}\alpha + \text{ctg}\alpha) + 4 \cdot m_x \cdot \sin^2\alpha \cdot (\text{tg}\alpha + \text{ctg}\alpha) + 2 \cdot (m_y/l_y) \cdot (l_x - l_y \cdot \text{ctg}\alpha), \quad (5)$$

где  $m_y$  – погонный изгибающий момент в направлении короткого пролета;  $m_x$  – погонный положительный изгибающий момент в направлении длинного пролета.

Изгибающий момент  $m_y$  и  $m_x$  вычисляется как для балочных плит по методике [3].

Несущая способность сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру при условии  $f=1$ , определяется из формул (1) и (2):

$$Q = A_m - V. \quad (6)$$

В выражениях для  $A_m$  и  $V$  содержатся геометрические параметры, которые могут быть выражены через угол  $\alpha$  (рис. 1).

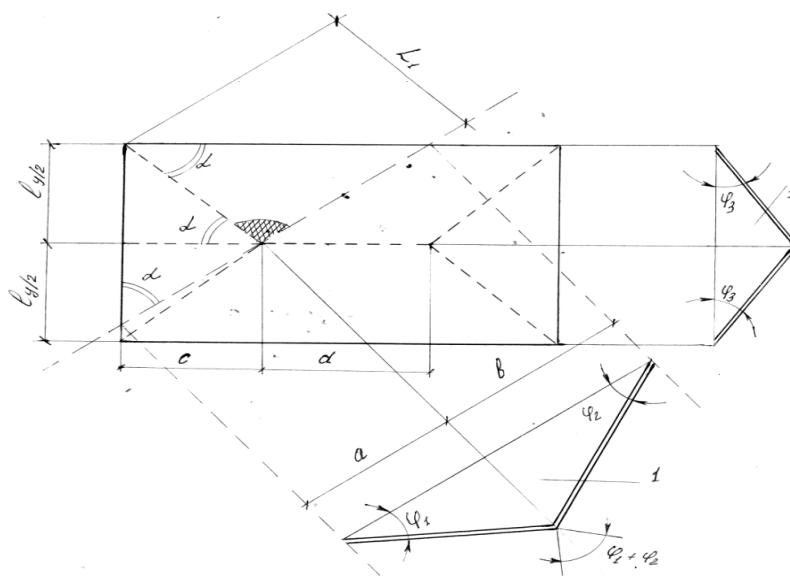


Рис. 1. Расчет сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру

Несущая способность сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, определяется из следующего условия равенства работ внешних и внутренних сил:

$$Q = [4 \cdot m_y \cdot (\text{tg}\alpha + \text{ctg}\alpha) \cdot (\cos^2\alpha + 1.79 \cdot \sin^2\alpha) + 2 \cdot (m_y/l_y) \cdot (l_x - l_y \cdot \text{ctg}\alpha)] / [l_y \cdot (l_x/2) - (l_y \cdot \text{ctg}\alpha)/3]. \quad (7)$$

Определение минимального значения несущей способности  $Q$  по формуле (7) производим при угле  $\alpha$ , принимая  $m_y=1$  и  $m_x=1.79 \cdot m_y$ . Определив угол  $\alpha$  и подставив его в формулу (7), вычислим искомую несущую способность  $Q$ .

В нашем случае при угле  $\alpha=52.5^\circ$  по графику ( $Q - \alpha$ ) определяется минимальная несущая способность  $Q$  (рис. 2).

Согласно расчетам, минимальная несущая способность  $Q$  практически совпадает с результатами метода предельного равновесия и метода сосредоточенных деформаций. При этом расхождение – в пределах от 0.3 до 0.8 %. Следовательно, алгоритмы расчета, полученные по методу предельного равновесия и методу сосредоточенных деформаций близки между собой.

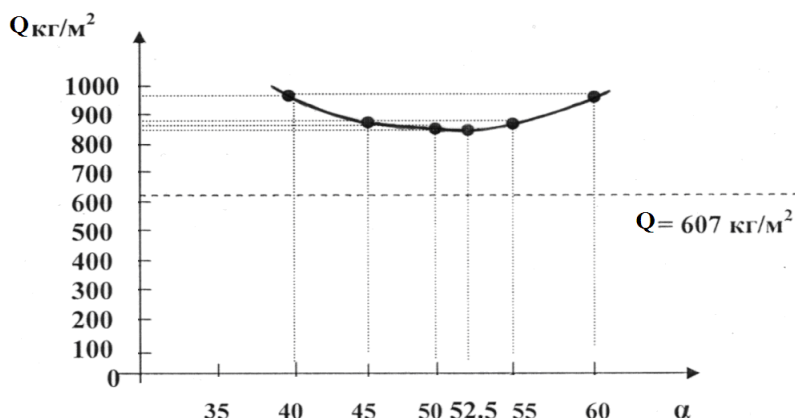


Рис. 2. График « $Q - \alpha$ » для определения минимальной несущей способности  $Q_{\min}$  при угле  $\alpha=52.5^\circ$ ; — МСД и .....МПР

Результаты нашего исследования показывают, что расчет несущей способности сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, методом предельного равновесия сводится к выводу расчетных формул для всех разновидностей механизмов возможных схем излома участков с учетом особенностей их опорных условий и формы в плане. Возможные схемы излома сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, при других схемах закрепления опоры и от воздействия внешней нагрузки могут быть приняты на основе обширных исследований железобетонных плит, работающих в двух направлениях с гибкой арматурой. В стадии предельного равновесия сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру, под нагрузкой их плоская поверхность может рассматриваться как усеченная пирамида высотой, равной максимальному прогибу плиты. Согласно расчетам, минимальная несущая способность  $Q$  практически совпадает по результатам метода предельного равновесия и метода сосредоточенных деформаций. При этом расхождение составляет от 0.3 до 0.8 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гвоздев А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. М.: Госстройиздат, 1979.
- [2] Ржаницын А. Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материалов. М., 1954.
- [3] СНиП 2.03.01-84\*. Железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1985. – 79 с.

Баткенский государственный университет, Кыргызская Республика

Дата поступления  
04.05.2016

**А.М. Зулпуев. Кўп қаватли бинонинг контури бўйлаб таянган йиғма темир-бетон том ёнма плиталарининг юк кўтариш қобилиятини ҳисоблаш тадқиқотлари**

Мақолада кўп қаватли биноларда контури бўйлаб таянган йиғма темир-бетон том ёнма плиталарини, чекли мувозанат усули орқали, юк кўтариш қобилиятини ҳисобланган ва ташқи куч таъсиридан емирилиши механизми аниқланган.

**A.M. Zulpuyev. Investigation of bearing capacity of precast concrete slabs, supported along the contour of high-rise buildings**

This article deals the following questions calculation of the carrying ability by the method of maximum balance of the combined Ferro concrete slabs of recovering based on the contour of the multy - storeyed buildings; finding the mechanism of their destroying because of the influence of outer loadings.

Г.Т. КАСЫМОВА

## УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В современных конструкциях, находящихся в сложных условиях, возникает множество проблем в процессе как проектирования, так и их эксплуатации [1–5]. Одно из решений этих проблем – учет нелинейного поведения конструкции в процессе деформирования. Выявлено, что в узловых соединениях в большей степени проявляется конструктивная нелинейность и их податливость меняется в зависимости от напряженно-деформированного состояния [1–3]. Экспериментальные исследования показывают, что переменная податливость сопряжений приводит к существенному (до 40%) перераспределению усилий [1–3,5,6].

В существующих методах расчета не в полной мере учитывается влияние податливости узловых сопряжений на совместную работу несущих подсистем каркасных зданий: продольных и поперечных рам, дисков перекрытия и диафрагм жесткости. Это объясняется недостаточной изученностью пространственного взаимодействия сборных элементов как в упругой, так и в пластической стадиях работы [3–5]. Поэтому, как правило, расчет каркасных зданий производится по расчетным схемам с шарнирными или жесткими узлами сопряжений элементов, что не всегда адекватно отражает работу конструкции. Иногда жесткость узлов сложных конструкций трудно смоделировать, поэтому такие узлы конструкций традиционно проектируются частями – каждый элемент отдельно (сварные швы, болты, пластины). При этом напряжения в спроектированном таким образом узле в реально работающей конструкции могут отличаться от прогнозируемых. Это связано с влиянием конечной жесткости узла на поведение конструкции. Идеализация напряженного состояния в узлах при расчете (шарнир, жесткое соединение) может привести при реальной работе конструкции к отличиям до 20% по деформациям от проекта (влияние конечной жесткости в каждом из нескольких сотен узлов существенно). В этих условиях наблюдается существенное отличие в напряженно-деформированном состоянии (НДС) между спроектированной и реально работающей конструкцией. Данное отличие, прежде всего, скажется на усилиях в узлах. Новые технологии и инновации в строительстве приводят к изменениям, влияющим на совместную работу всех элементов системы. При моделировании конструкций необходимо создавать такие расчетные схемы, которые бы наиболее точно и полно отражали реальное поведение всей системы и были доступны для использования компьютерных программ.

Наша цель – выявить степень прочности несущих элементов конструкций с помощью оценки изменения жесткости узловых соединений на НДС зданий. Для реализации поставленной цели использованы компьютерные программы, имеющие возможность учитывать соответствующие конструктивные особенности.

Наиболее простая схема для расчета – это шарнирное соединение, когда систему можно рассматривать как статически определимую. При жестком соединении система становится статически неопределимой и значения внутренних усилий и деформаций более занижены в сравнении с первым видом соединений. Третий тип соединений (реальное) наиболее полно отражает истинную картину и должен учитываться при проектировании. Жесткость или податливость реальных связей определяется через соответствующие коэффициенты, определяемые экспериментально или с помощью приближенных формул [2,5–6].

**Постановка задачи:** в статье рассмотрены три вида узловых соединений – два предельных (шарнирное и жесткое) и реальное с изменяющейся жесткостью в процессе деформирования [5], сделана оценка их влияний на напряженно-деформированное состояние для 3-х решений: упругое, по первому предельному и второму предельному состояниям. Приведен расчет трехэтажного административного здания с размерами в плане 12х30 м. Шаг колонн в продольном и поперечном направлениях – 6 м. Высота этажа – 3 м. Колонны двутаврового сечения – из прокатных двутавров № 40К. Ригели в обоих направлениях – из прокатных двутавров № 40Б. Сталь класса – С 245. Плиты перекрытий и покрытия – из монолитного железобетона толщиной 20 см. Класс бетона – В25. Фундаменты монолитные, столбчатые. Рассматриваются постоянные и временные статические



нагрузки согласно СНиП. На рис. 1 представлены компьютерная модель здания и конечно-элементное разбиение.

Расчетной моделью колонн является стержень, работающий на сжатие, изгиб и кручение. Расчетная модель ригеля балка, работающая на растяжение–сжатие, сдвиг и изгиб в двух плоскостях. Расчетная схема плиты перекрытия представляет собой сплошную пластину, шарнирно опертую по краям, так как ввиду большой жесткости ригелей на изгиб можно сопряжение по краям плиты представить как простое опирание. Грунтовое основание заменяется упругоподатливым основанием с двумя коэффициентами постели. Рассмотрены 2 предельных вида соединений фундаментов с колоннами: жесткое и шарнирное. Это дает возможность определить диапазон изменений НДС несущих элементов для других видов соединений с фундаментом. В рассмотренных примерах исследуется влияние узловых соединений колонн с ригелями и с фундаментом на НДС несущих элементов.

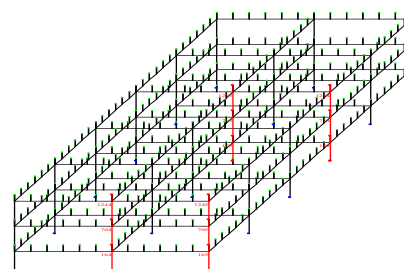


Рис. 1. Компьютерная модель здания

Результаты численных и аналитических исследований. На рис.2 представлена диаграмма зависимости сжимающих усилий в колоннах (крайние колонны в поперечном направлении) от вида узловых соединений колонн с ригелями. Рассмотрены 3 решения: 1–упругое решение, 2–решение – по 1-му предельному состоянию, 3 – решение по 2-му предельному состоянию. Как видно, при шарнирном соединении в сравнении с жестким эти усилия увеличиваются на 7–30%. Наиболее напряженными в работе являются средние колонны, в них сжимающие усилия увеличиваются в сравнении с крайними колоннами соответственно для 3 решений на 40, 35 и 33%. Для реальной жесткости узловых соединений полученные результаты увеличиваются на 15–25% в сравнении со случаем жесткого соединения.

Результаты численных и аналитических исследований. На рис.2 представлена диаграмма зависимости сжимающих усилий в колоннах (крайние колонны в поперечном направлении) от вида узловых соединений колонн с ригелями. Рассмотрены 3 решения: 1–упругое решение, 2–решение – по 1-му предельному состоянию, 3 – решение по 2-му предельному состоянию. Как видно, при шарнирном соединении в сравнении с жестким эти усилия увеличиваются на 7–30%. Наиболее напряженными в работе являются средние колонны, в них сжимающие усилия увеличиваются в сравнении с крайними колоннами соответственно для 3 решений на 40, 35 и 33%. Для реальной жесткости узловых соединений полученные результаты увеличиваются на 15–25% в сравнении со случаем жесткого соединения.

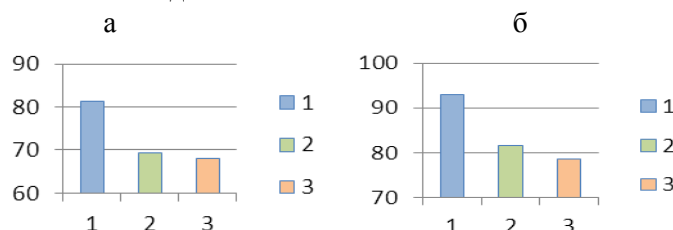


Рис.2. Диаграммы зависимости значений сжимающих усилий от вида узловых соединений: а–жесткое соединение, б–шарнирное соединение (1–упругое решение, 2–решение по 1-му предельному состоянию, 3– решение по 2-му предельному состоянию)

На рис.3 представлена диаграмма зависимости максимальных сжимающих усилий в средних колоннах в зависимости от типа соединения с фундаментом. Рассмотрены 3 решения: 1–упругое решение, 2–решение по 1-му предельному состоянию, 3–решение по 2-му предельному состоянию. Как видно, расхождения для продольных сил в колоннах для случаев жесткого и шарнирного соединений с фундаментом составляет от 5 до 7%.

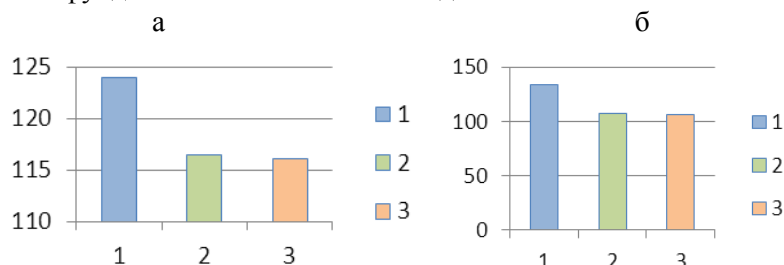


Рис.3. Диаграммы зависимости значений максимальных продольных сил от типа соединения с фундаментом: а – жесткое соединение; б – шарнирное соединение (1–упругое решение, 2–решение по 1-му предельному состоянию, 3– решение по 2-му предельному состоянию)

Многовариантные расчеты показывают, что значительные изгибающие моменты и поперечные силы возникают в крайних колоннах первого этажа. Их значения при шарнирном соединении в узлах в сравнении с жестким увеличиваются соответственно для 3 решений на 5, 14 и 26%, при сравнении с реальной жесткостью узловых соединений эти значения уменьшаются соответственно на 10, 18 и 30% .

Таким образом, сжимающие усилия в несущих вертикальных элементах конструкции существенно зависят от вида узловых соединений. Для упругого решения расхождения НДС в зависимости от вида узловых соединений составляют 7–35%, для расчета по предельным состояниям – до 25%. Жесткость соединения колонн с фундаментом незначительно влияет на продольные усилия в колоннах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. М.: АСВ, 2010. – 348с.
- [2] Ананьин М.Ю. и др. Метод учета податливости в узлах металлических конструкций зданий // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2009. №3.
- [3] Руководство для проектировщиков к Еврокоду 2: Проектирование железобетонных конструкций. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2013.
- [4] Перельмутер А.В. и др. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: АСВ, 2010.
- [5] Достанова С.Х., Касымова Г.Т. Современные проблемы расчета и моделирования зданий и сооружений с конструктивными особенностями // Сб. матер. МНПК «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций». Алматы: Изд. КазГАСА, 2013. С. 31–38.
- [6] Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции // Материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции. Чебоксары, 2014. –535с.

Казахская головная архитектурно-строительная академия

Дата поступления.  
02.06.2016

***Г.Т. Касымова. Конструкцияларнинг юк кўтарувчи элементларини ҳисоблашда деформацияланиш жараёнида бирикши тугунларини мустаҳкамлигини ўзгаришини ҳисобга олиш***

*Бинонинг юк кўтарувчи элементларини ҳисоблашнинг турли хил моделлари келтирилган. Чекли элементлар усулини фойдаланиб сонли ҳисоблашлар ўтказилган. Учта турли хил ҳолатдаги тизимлар учун юк кўтарувчи элементларни ишлашида бирикши тугунларини мустаҳкамлигини ўзгаришинини таъсири кўрсатилган.*

***G.T. Kasimova. Accounting of changes of rigidity nodes connections in the process of deformation in calculating bearing elements frame structures***

*The different calculation models of bearing elements of constructions of building are presented. A numeral calculation is done with the use of method of finite elements. Influence of rigidity of nodal connections on work of bearings elements for three different states of the system is shown.*

УДК 691.32:620.1

**В.И. КОНДРАЩЕНКО, А.Г. КЕСАРИЙСКИЙ, Е.В. КОНДРАЩЕНКО, А.В. ДОБРОСЛАВСКИЙ**

### **ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

Важным условием эффективного применения строительных материалов в конструкциях, подверженных сейсмическим воздействиям, является всестороннее изучение механики деформирования и разрушения таких материалов.

Корректное описание свойств сложноструктурированных многоуровневых систем, которыми является большинство строительных материалов, предполагает создание структурно-имитационных моделей (*СИ*-моделей) с последующим воспроизведением на ЭВМ протекающих в системе процессов [1]. Для построения высокодостоверных *СИ*-моделей недостаточно объема экспериментальных данных, полученных традиционными методами исследования, в большинстве своем основанных на усреднении механических характеристик композиционных структур.

Опыт экспериментальных исследований сложноструктурированных систем, в том числе и композиционных структур, показывает, что для эффективного решения задач такого рода целесообразно применять экспериментальные методы, оперирующие не отдельными, точечными измерениями, а массивами, *полями* параметров, описывающими свойства и/или процессы, происходящие в объекте исследования.

Результаты исследований в области машиностроения и строительной механики показывают, что для решения таких задач весьма перспективно применение методов лазерной интерферометрии

[2–5]. Это обуславливается уникальными возможностями методов, позволяющих бесконтактно и безынерционно регистрировать поля пространственных векторов перемещений натуральных объектов с чувствительностью 0.1–0.3 мкм и пространственным разрешением 0.1 – 0.5 мм, что создает хорошие предпосылки для разработки высокодостоверных СИ-моделей.

Сущность лазерно-интерференционных методов измерения состоит в сравнении волновых фронтов когерентного лазерного излучения, отраженного исследуемой поверхностью в разные моменты времени, например до и после нагружения.

Длительное время высокая стоимость лазерного, электронного и компьютерного оборудования накладывала существенные ограничения на области применения методов лазерной интерферометрии. В последнее десятилетие успехи науки и техники в области оптоэлектроники, лазерной техники и прикладной математики не только сделали эти методы коммерчески целесообразными в других областях, но и расширили возможности их применения инженерами и учеными, даже не имеющими специальной подготовки в области когерентной оптики. Это, как показывает опыт наших исследований, создает хорошие предпосылки для разработки новых материалов и строительных технологий.

Применение методов лазерной голографической интерферометрии для анализа поведения различных строительных материалов позволило установить как особенности влияния различных технологий изготовления на свойства материала, так и их поведение в различных условиях нагружения. Например, тяжелый бетон на гранитном щебне, полученный по ротационной (методом механического набрызга) технологии, сравнивали с бетоном, изготовленным по традиционной (вибрационной) технологии (рис. 1).

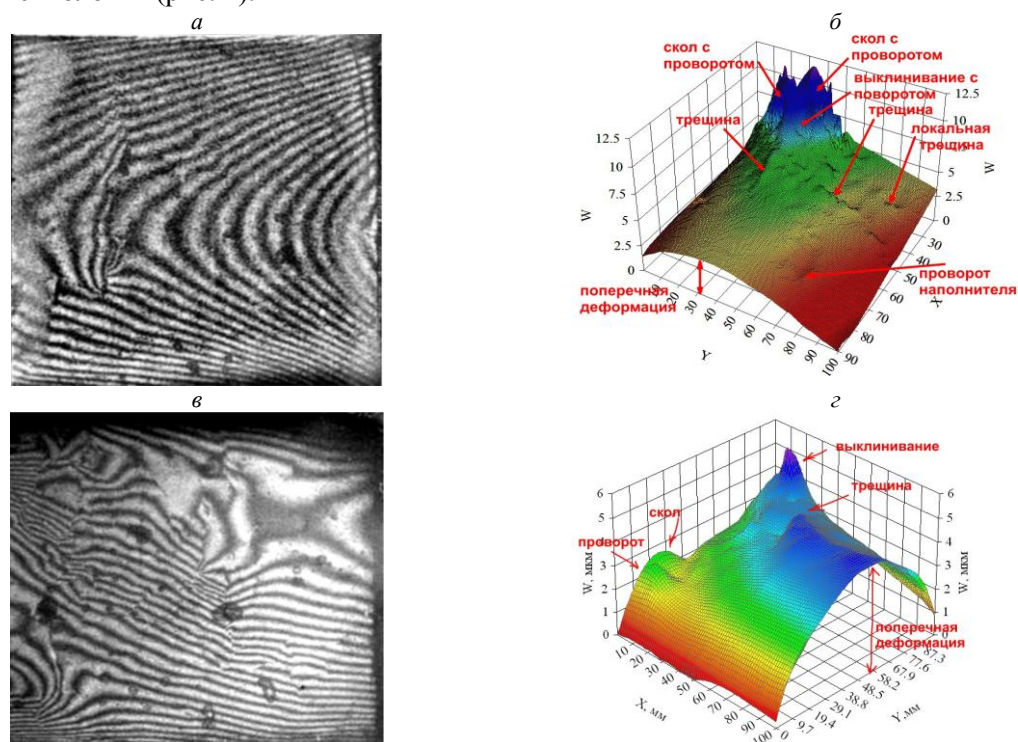


Рис. 1. Интерферограммы (а, в) и 3-D графики полей перемещений (б, г) образцов ротационного (а, б) и вибрационного (в, г) бетонов

Исследования позволили установить механизм начала трещинообразования для каждой технологии отдельно, сравнить особенности формирования блоков и высокоградиентных линейно-протяженных зон повышенных упругопластических деформаций, являющихся зонами диссипации энергии разрушения сложноструктурированных материалов.

Установлено, что формирование блочной структуры разрушения происходит на ранних стадиях деформирования материала; при этом зарождающиеся трещины визуально не наблюдаются даже при использовании оптических приборов.

Легкие бетоны на основе керамзитового заполнителя проявляют иной характер структурных изменений в процессе деформирования. На рис. 2 показаны результаты исследования образца такого бетона при уровне напряжений  $\sigma = 10.55$  МПа.

При действии сжимающей нагрузки на интерферограмме образца керамзитобетона отчетливо выделяются четыре основные области (см. рис.2): 1 – центральный блок в виде фрагмента, отделенного от основного массива сеткой трещин, 2 – скол части образца с боковой поверхности, 3 – область высокоградиентных нормальных перемещений основного массива, частично ослабленного трещиной, 4 – локальный всплеск нормальных перемещений на участке, потерявшем, видимо, механическую связь с основным телом образца. Особый интерес вызывает метастабильность положения области 1, что, скорее всего, вызвано противодействием сил со стороны областей 2 и 3. При данной нагрузке образец уже содержит основные поверхности разделения и сохраняет целостность только благодаря геометрическому замыканию отдельных блоков.

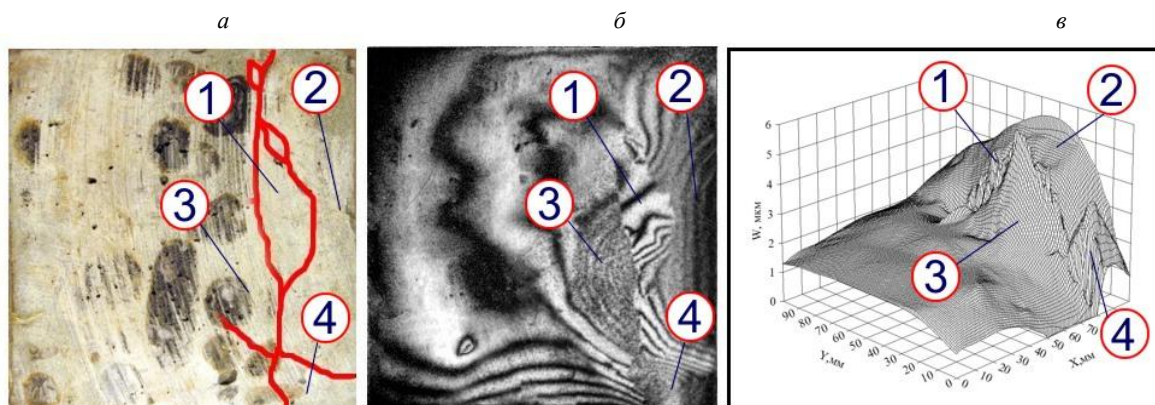


Рис. 2. Аншлиф (а), интерферограмма (б) и график поля перемещений (в) образца легкого бетона при уровне сжимающих напряжений  $\sigma = 10.55$  МПа (см. пояснения в тексте)

Деформация образцов из пенобетона существенно отличается от деформации бетонов, имеющих заполнитель. На рис. 3 показаны интерферограммы, полученные на восходящей ветви диаграммы “ $\sigma - \epsilon$ ”.

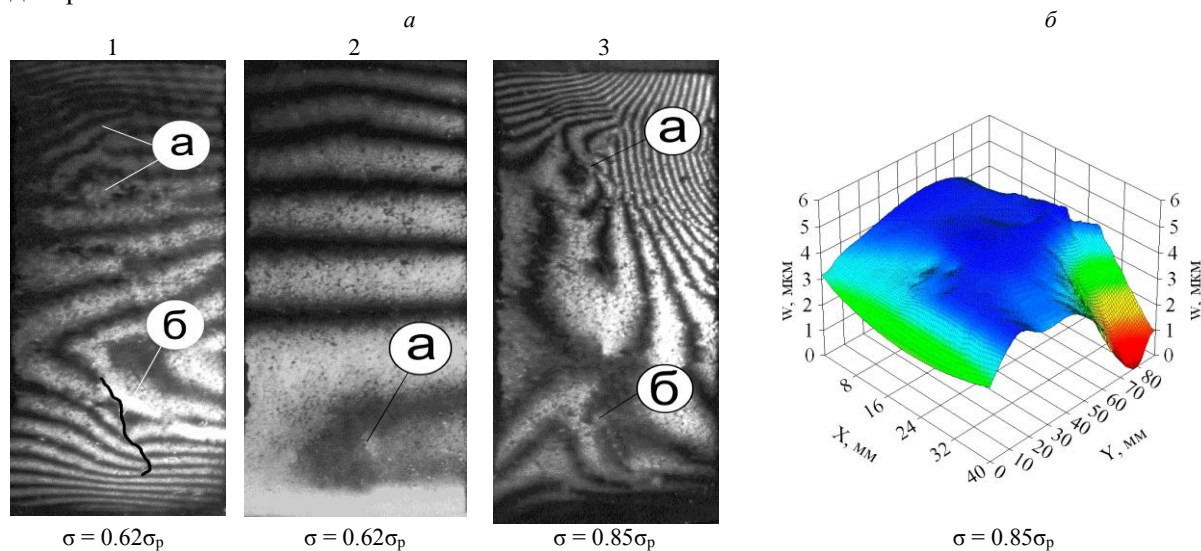


Рис. 3. Интерферограммы пенобетона (а) на восходящей ветви диаграммы “ $\sigma - \epsilon$ ” и 3D-диаграмма поля перемещений (б) (см. пояснения в тексте)

До уровня напряжений, составляющих 45–50 % от разрушающих напряжений  $\sigma_p$ , наблюдается линейное деформирование образца, соответствующее упругой области кривой деформирования. Но уже при достижении уровня напряжений  $\sigma = 0.62\sigma_p$  поле перемещений теряет свою равномерность и начинают проявляться первые признаки деструкции образца (см. рис. 3,а1). Локальные искажения интерференционных полос в зоне «а» характеризуют участок потенциального выклинивания части материала, а в зоне «б» – о зарождении в ней трещины. При намеренном снижении нагрузки на 4–5 % с последующим восстановлением напряжений до прежнего уровня интерферограмма (см. рис. 3,а2) показывает, что уровень упругих деформаций существенно уменьшается, но

обнаруживается зарождение трещины в зоне «а». Дальнейшее увеличение нагрузки на образец приводит к активному развитию ранее обнаруженных аномалий деформирования – по разрывам в интерференционных полосах (зоны «а» и «б» на рис. 3,а3) при  $\sigma = 0.85\sigma_p$  отчетливо проявляются трещины, которые визуалью на образце не видны.

Круг задач, решаемых с применением лазерно-интерференционных методов, не ограничивается только изучением процессов деформирования и разрушения строительных материалов. Возможности метода, реализующего регистрацию и анализ полей перемещений и деформаций с высокой чувствительностью и прецизионной точностью, гораздо шире. Разработана и успешно опробована методика оценки технического состояния строительных конструкций с внешним армированием [6]. Применен метод и для исследования процессов, сопровождающих усадку цементных растворов [7]. Разработан принципиально новый способ контроля продвижения фронта распространения влаги, обеспечивающий оценку водонепроницаемости цементных растворов [8].

Таким образом, подтверждена высокая информативность лазерно-интерференционных методов для изучения сложноструктурированных систем, а расширение информационной насыщенности при исследовании строительных материалов и технологий позволит обеспечить качественно новый уровень разработки конструкторских и технологических решений, в частности в сейсмостойком строительстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кондращенко В.И. Оптимизация составов и технологических параметров получения изделий брускового типа методами компьютерного материаловедения; Автореф. дис....докт. техн. наук. М., 2005. – 48 с.
- [2] Кесарийский А.Г. Голографические исследования работоспособности двигателей внутреннего сгорания// Когерентная оптика и голография. Труды XXV школы-симпозиума. Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 1997. С.191 – 197.
- [3] Кесарийский А.Г. Применение голографической интерферометрии для анализа работоспособности изделий из композиционных материалов // Технологические системы. 2000. №2 (4). С. 43–45.
- [4] Кесарийский А.Г. Комплексное применение методов голографической интерферометрии и конечно-элементного математического моделирования при отработке конструкции двигателя внутреннего сгорания// Актуальные проблемы теории и практики современного двигателестроения: Труды Международной научно-технической конференции. 23–25 апреля 2003 г. г. Челябинск. – Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2003. С.92–95.
- [5] Кесарийский А.Г., Кондращенко В.И. Изучение методами голографической интерферометрии особенностей поведения тяжелых и легких бетонов// Науковий вісник Луганського національного аграрного універс. Серія: Технічні науки. №14.. Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2010, С. 67–86.
- [6] Пат. 2519843 Российская Федерация, МПК7 G01N 21/88, G01B 11/16 Способ контроля внешнего композиционного армирования строительных конструкций / Кондращенко В. И., Кесарийский А.Г., Минсадров И.Н.; Заявители. – 2013107644/28; Заявл. 21.02.2013; Оpubл. 20.06.2014. Бюл. 2014. №17.
- [7] Кесарийский А.Г., Кондращенко В.И. Исследование методами голографической интерферометрии усадки цементных растворов // Науковий вісник будівництва. вып. 66. Харьков: ХДТУБА ХОТВ АБУ. 2011. С. 263–269.
- [8] Кондращенко В.И., Кендюк А.В., Кесарийский А.Г., Коломиец Ю.В. Применение лазерной интерферометрии для оценки водонепроницаемости цементосодержащих материалов.// Инженерные сооружения на транспорте: Сборник научных трудов/ Под общей ред. проф. Романова Ю.И. Вып.5. М.: МГУПС (МИИТ), 2013. С. 18–22.

Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II

Дата поступления  
01.06. 2016

***В.И. Кондращенко, А.Г. Кесарийский, Е.В. Кондращенко, А.В. Доброславский. Курилиш материаллари деформацияланишининг лазерли интерферометрия усуллари билан ўрганиши***

*Лазерли интерферометрициян усуллари билан мураккаб тузилмаларни тизимларни ўрганишидаги юқори даражадаги интермативлиги тасдиқланиб бу зилзилабардошли курилиш соҳасида конструкторлик ва технологик ечимларни ишлаб чиқишининг янги юқори даражасини таъминлаш имконини беради.*

***V.I. Kondrashchenko, A.G. Kesariyskiy, E.V. Kondrashchenko, A.V. Dobroslavsk. Deformation studies of building materials using laser interferometry***

*High informative of laser-interference methods for studying systems with a complex structure is confirmed. Use of these methods makes it possible to provide high-level solutions and engineering problems for earthquake-resistant construction.*

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗАКАЧКЕ НЕФТЯНЫХ ОТХОДОВ В ВЫРАБОТАННЫЕ ГАЗОНОСНЫЕ ПЛАСТЫ

Надежная и эффективная утилизация промышленных отходов, в том числе и утилизируемых вод современных нефтегазовых комплексов, является одной из важнейших проблем, с которой связано предотвращение всевозрастающего загрязнения ландшафта, поверхностных и подземных вод. Утилизируемые воды, вследствие своей способности фильтроваться и мигрировать, глубоко проникают в подземную гидросферу и переносят загрязняющие вещества на значительные расстояния. Вопрос совершенствования и внедрения технологических процессов, уменьшающих количество жидких отходов и их токсичность, остается актуальным. В настоящее время известно несколько способов такого захоронения утилизируемых вод: в зону аэрации; в массивы каменной соли; в толщи глинистых и многолетнемерзлых пород; в глубокие водоносные горизонты.

В соответствии с «Прогнозной картой гидрогеологических условий захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные комплексы» [1] территория Мангышлака Республики Казахстан (РК) отмечена как благоприятная для поисков глубоких водоносных пластов-коллекторов и для захоронения промышленных стоков: в том числе рекомендуются альбеноманский, неоконский, средне-, нижеюрский и ветлужско-татарский водоносные комплексы [2].

В нефтепромысловой практике РК опыт захоронения жидких отходов подготовки нефти в выработанные газовые горизонты незначителен. Поэтому вопросы, связанные с закачкой водно-нефтяной эмульсии в выработанные газоносные толщи, весьма актуальны и требуют постоянного совершенства. В РК месторождение Узень приурочено к крупной антиклинальной складке субширотного простирания размерами 45x10км, которая расположена в восточной части Жетыбай-Узеньской тектонической ступени и выделяется своими крупными размерами. В целях исследования на примере месторождения Узень наряду с аналитическими методами расчета представлены методы математического моделирования процесса закачки жидких отходов в выработанный газоносный пласт. В условиях отсутствия гидравлической связи между поглощающим горизонтом и залежью УВ в поглощающем горизонте при закачке происходит повышение давления ( $\Delta P$ , кгс/см<sup>2</sup>), которое определяют по формуле [3]

$$\Delta P = \frac{Q}{4\pi K_{\text{лат}} h_{\text{эф}}} \ln \frac{2.25 \chi t}{r_0^2}, \quad (1)$$

где  $Q$  – приемистость, м<sup>3</sup>/сут;  $\chi$  – пьезопроводность, м<sup>2</sup>/сут;  $t$  – время эксплуатации, сут;  $K_{\text{лат}}$  – проницаемость латеральная, Дарси;  $r_0$  – радиус скважины или приведенный радиус нагнетательного узла, м.

Предварительные расчеты показывают, что в процессе закачки давление за счет упругих сил пласта возрастет не более чем на 7.15 атм. [2]. Если учесть, что при проведении пробных закачек давление на устье скважины было равно нулю, то на расчетный срок эксплуатации полигона 12 лет давление закачки возрастет до 7.15 атм.

Теоретические расчеты не учитывают породы в призабойной зоне пласта, которая существенно снижается в процессе закачки жидких отходов производства. Поэтому на практике давление будет возрастать значительно быстрее и при достижении 30 атм. необходимо будет проводить очистку призабойной зоны. Ориентировочная периодичность – 1 раз в год [3].

Расчет радиуса подземного растекания жидких отходов на конечный срок эксплуатации  $Ra$  рассчитывают по формуле [3]

$$Ra = \sqrt{\frac{\sum V_{\text{ж}}}{\pi \cdot h_{\text{эф}} \cdot m_{\text{эф}}}}, \quad (2)$$

где  $h_{\text{эф}}$  – эффективная мощность, определяемая по геофизическим данным, м;  $m_{\text{эф}}$  – эффективная пористость, доли единиц.

При накопленном объеме для утилизации 73 000 м<sup>3</sup> дополнительно ежедневно утилизации подлежит еще 40 м<sup>3</sup> жидких отходов. В процессе подготовки жидких отходов к закачке в выработанные газовые горизонты для снижения вязкости и концентрации механических примесей

водонефтяные эмульсии с примесью «сажи» необходимо смешивать со сточными водами в пропорции 1:1 [3]. Поэтому общий объем закачки отходов в пласт будет увеличен вдвое и составит  $125\,276\text{ м}^3$  и еще  $40\text{ м}^3$  ежесуточно поступающих жидких отходов. Расчет ведется на 12 лет. За это время общий объем утилизированных отходов составит  $125276+80 \times 365 \times 12=496400\text{ м}^3$ . Эффективная мощность для X горизонта составляет 11 м, эффективная пористость – 0.301. Таким образом, расчетное значение диаметра подземного растекания составит 218 м. С учетом того, что ближайшие поглощающие скважины в указанном районе скважин находятся на расстоянии 500 м, можно сделать вывод об отсутствии взаимного влияния на процесс утилизации жидких отходов в течение 12 лет эксплуатации полигона.

Трехмерная нестационарная фильтрация потока подземных вод в гетерогенной и анизотропной среде в общем случае описывается уравнением [3]

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}; \quad (3)$$

с начальными условиями

$$h(x, y, z, t) = H_0(x, y, z) \quad \text{на } \Omega, t=0$$

с граничными условиями

$$h(x, y, z, t) = H_0(x, y, z, t) \quad \text{на } \Gamma_1, t \geq 0$$

$$K_n \frac{\partial h(x, y, z, t)}{\partial n} = Q(x, y, z, t) \quad \text{на } \Gamma_2, t \geq 0$$

где  $K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  – коэффициенты фильтрации по направлению координатных осей  $x, y$  и  $z$  ( $Lt^{-1}$ );  $h$  – напор ( $L$ );  $W$  – объемный поток на единицу объема, представляет источники и/или стоки воды ( $t^{-1}$ );  $S_s$  – коэффициент водоотдачи пористого материала ( $L^{-1}$ );  $t$  – время ( $t$ ). В общем случае функции  $S_s, K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  могут быть функциями пространственных координат ( $S_s = S_s(x, y, z), K_{xx} = K_{xx}(x, y, z)$  и т.д.) и  $W$  – функцией пространственных координат и времени ( $W = W(x, y, z, t)$ );  $\Omega$  – моделируемая область;  $H_0(x, y, z)$  – известное распределение напора в начальный момент времени;  $\Gamma_1$  – граница с заданным напором;  $H(x, y, z, t)$  – значение напора вдоль границы  $\Gamma_1$ ;  $\Gamma_2$  – граница с заданным расходом воды;  $K_n$  – коэффициент фильтрации по нормали к границе  $\Gamma_2$ ;  $Q(x, y, z, t)$  – расход воды на единицу объема;  $\lambda$  – коэффициент, характеризующий взаимосвязь с внешней фильтрационной средой;  $h_B$  – уровень воды во внешней фильтрационной среде.

Для моделирования работы поглощающих скважин использован программный комплекс GMS 6.0., Brigham Young University, США, представляющий систему математического моделирования гидрогеологических процессов [4]. GMS предназначена для моделирования движения подземных вод и транспорта растворенных в воде компонентов в зонах полного и неполного насыщения и включает в себя развитые средства концептуального моделирования, построения линий токов, геостатистики, визуализации результатов моделирования в плане и разрезе. GMS разработана как комплексная среда для моделирования и представляет собой графический интерфейс пользователя и набор программ: ART3D, FEMWATER, MODAEM, MODFLOW, MODPATH, MT3DMS, RT3D, SEAM3D, SEEP2D, UTCHEM, содержит программу автоматического подбора параметров в процессе калибровки модели PEST (таблица).

Список программ системы моделирования GMS и их назначение

№ п/п	Имя программы	Назначение
1	MODFLOW	Моделирование фильтрации трехмерного потока грунтовых вод в гетерогенной и анизотропной среде с использованием метода конечных разностей
2	MT3DMS	Моделирование переноса подземными водами растворенных в них компонентов в трехмерном пространстве
3	RT3D	Моделирование переноса подземными водами твердых и растворенных в них загрязняющих компонентов с учетом химических и микробиологических реакций в трехмерном пространстве
4	SEAM3D	Моделирование переноса подземными водами растворенных в них компонентов с учетом аэробного и последующего анаэробного разложения в трехмерном пространстве
5	SEEP2D	Создание плоских плановых и профильных моделей движения подземных вод в изотропной и анизотропной, гомогенной и гетерогенной среде
6	FEMWATER	Моделирование трехмерного потока подземных вод в зоне полного и неполного насыщения с учетом изменения плотности фильтрующегося флюида методом конечных элементов
7	UTCHEM	Моделирование движения подземного трехмерного потока многофазного флюида, а также транспорта растворенных в нем компонентов с учетом различных химических превращений
8	NUFT	Моделирование многофазных неизоэнтальпических процессов влаго- и массопереноса в зоне аэрации
9	PEST	Калибровка модели, реализуемой MODFLOW
10	MODPATH	Построение линий токов стационарного потока подземных вод

Создание модели осуществлялось с помощью модулей Map и 3DGrid. Для решения дифференциального уравнения, описывающего процесс нестационарной фильтрации подземных вод в пористой среде (формула 3), использовалась программа MODFLOW (см. таблицу).

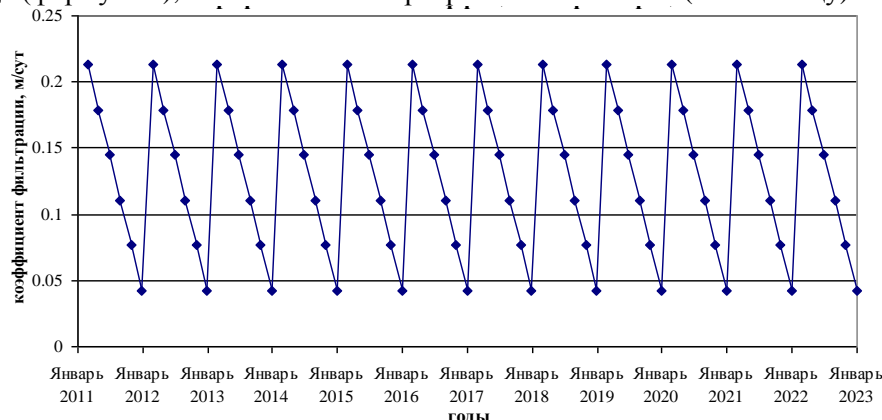


График изменения коэффициента фильтрации

При решении прогнозной задачи закачки промстоков в поглощающую скважину, граница «вода–газ» в плане на модели скачкообразно перемещалась в конце каждого года в соответствии с постановкой задачи и рассчитанным радиусом обводненной зоны на различные моменты времени (рисунок). В непосредственной близости от поглощающей скважины коэффициент фильтрации линейно изменялся в процессе моделирования в пределах одного шага сеточной аппроксимации (0.25м) от 0.213 м/сут в начале каждого года до 0.0426 м/сут в конце каждого года на каждом шаге решения прогнозной задачи. Шаг решения прогнозной задачи – 2 месяца. График изменения коэффициента фильтрации пород X горизонта вблизи поглощающей скважины, задаваемый в процессе моделирования, приведен на рисунке. Наибольшее увеличение давления в центре фильтра поглощающих скважин (на 72.05 м водяного столба) произойдет к концу второго года их эксплуатации. В дальнейшем в связи с уменьшением расхода стоков, закачиваемых в каждую скважину с 70 до 20 м<sup>3</sup>/сут, увеличение давления в центре фильтра поглощающих скважин относительно давления на начальный момент их эксплуатации не превысит 21.4м водяного столба.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сидоренко А. В. Прогнозная карта гидрогеологических условий захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные комплексы на территории СССР. М.: Недра, 1970. – 380с.
- [2] Айтуаров Т. К., Касымбеков Д. А., Калитов Д. К. Схема гидрогеологического районирования территории Казахстана // Труды Международной научной конференции «Проблемы отходов нефтегазового производства». Алматы., 2007. С.123–127.
- [3] Теоретические основы инженерной геологии. М.: Недра, 1985. – 288с.
- [4] Программный комплекс GMS 6.0 и его назначение. «MODFLOW» – моделирование работы поглощающих скважин, США. Brigham Young University, 2007.

Каспийский университет, РК, Алматы

Дата поступления  
03.06.2016

**Н.К. Кулманова, Т.К. Айтуаров, Д.А. Касымбеков, Д.К. Калитов. Газ қатламларида нефт қолдиқларини қазиб чиқариш жараёнида гидрогеологик жараёнларни математик моделилаштириш**

Мақолада газ қатламларидан нефтни қазиб чиқаришга тайёргарлик жараёнида суюқ қолдиқларни йўқотиши мумкин бўлган вариант таклиф этилган. Бургуловчи скважина ишини моделилаштириш учун гидрогеологик жараёнларни математик моделилаштириш ифодаловчи система GMS 6.0. (Brigham Young University, США) дастурий комплексидан фойдаланилди. Бургиловчи скважинани 2022 йилгача бўлган даврда ишлаш шароитини ўзгартириш олдиндан баҳоланди.

**N.K. Kulmanova, T.K. Aytuarov, D.A. Kasimbekov, D.K. Kalimov. Mathematical modeling of hydrogeological processes in the injection of waste oil in the developed gas-bearing formations**

The paper presents the possibility of a variant of the disposal of liquid waste oil treatment by injection into the gas developed horizons. GMS 6.0 software package was used to simulate the operation of absorbing wells., Brigham Young University, USA., which is a system of mathematical modeling of hydrogeological processes. Made Prediction of changes in the working conditions of absorbing wells for the period up to 2022.



### СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ПЛИТ С ДИСКРЕТНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Результаты экспериментальных исследований показали, что прочностные и жесткостные свойства конструкций при динамических нагрузках значительно отличаются от статических. При динамическом расчете зданий и сооружений важно выявить особенности деформирования и аргументированно выбрать коэффициент запаса прочности. Для выявления истинного резерва несущей способности конструкции с учетом возможных изменений в состоянии рассматриваемой системы в течение ее жизненного цикла необходимо использовать компьютерные эксперименты, основанные на математическом моделировании, позволяющем отразить функциональное назначение и условия надежности всей системы. Учет влияния тех или иных факторов накладывает отпечаток на степень соответствия модели исходному объекту. В настоящее время разработано множество моделей, каждая из которых имеет свои допущения и ограничения. Современные программные комплексы имеют большие технические возможности, но точность полученных результатов расчета зависит от степени учета основных характеристик реальной конструкции в выбранной модели, особенно это касается динамических характеристик сложных конструкций. Одна из проблем – точность определения частот собственных колебаний конструкций, так как они существенно влияют на резонанс и на результаты расчетов при разложении внешней нагрузки по главным формам.

Наиболее распространенными элементами строительных и дорожных конструкций являются плиты, поэтому определение их собственных частот и периодов колебаний актуально при динамических воздействиях. В статье рассматриваются свободные поперечные колебания сборных плит покрытий и перекрытий. В качестве исходных приняты дифференциальные уравнения тонких плит относительно неизвестных функций напряжения и прогиба [1–3], т.е. учитываются мембранные и изгибные усилия. Наличие опорного контура, ребер жесткости, переломов на границе смежных плит учитываются с помощью функций Хевисайда и дельта функции. Углы переломов учитываются условиями сопряжения на границе смежных плит. В опорном элементе и ребрах жесткости учитываются деформации растяжения, изгиба и кручения. Рассматривается контактная задача, т.е. влияние указанных элементов заменяется реактивными силами и моментами по линии их контакта с плитой [3]. В качестве исходных уравнений приняты следующие:

$$\begin{aligned} \Delta^2 \varphi + D \Delta^2 \Delta^2 w - q &= 0, \\ \frac{1}{Eh} \Delta^2 \Delta^2 \varphi - \Delta^2 w &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varphi$  – функция напряжений;  $w$  – нормальные перемещения;  $q$  – нормальная составляющая инерционных сил;  $D$  – цилиндрическая жесткость;  $E$  – модуль упругости оболочки;  $h$  – толщина оболочки.

Нормальная составляющая инерционных сил имеет вид

$$q = -\frac{1}{g} \left[ \gamma h^0 + \sum_{j=1}^k \gamma_j h_j \delta(x - a_j) + \sum_{i=1}^t \gamma_i h_i \delta(y - b_i) \right] \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободно падающего тела (9.81 м/сек<sup>2</sup>);  $\gamma$  – удельный вес материала оболочки;  $\gamma_i$  ( $\gamma_j$ ) – удельный вес материала ребер;  $h_i, h_j$  – высота поперечного сечения ребер;  $h^0$  – толщина оболочки;  $a, b$  – размеры в плане.

Здесь

$$\delta(x - a_j) = \begin{cases} 0, & x \neq a_j \\ 1, & x = a_j \end{cases}, \quad \delta(x - b_i) = \begin{cases} 0, & y \neq b_i \\ 1, & y = b_i \end{cases} - \text{функция Дирака.} \quad (3)$$

Предполагается, что края плиты шарнирно оперты по краям. Поэтому граничные условия представляются в виде

$$x=0, x=a: \quad w=0, N_1=0, M_1=0, v=0,$$

$$y=0, y=b: \quad w=0, \quad N_2=0, \quad M_2=0, \quad u=0. \quad (4)$$

При свободных колебаниях системы полное перемещение по нормали и функция напряжения для случая шарнирного опирания плиты по всем краям определяется следующей суммой:

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \omega_{mn} t, \\ \varphi(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{mn}(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \omega_{mn} t. \quad (5)$$

Для решения использовался энергетический метод, в результате получается система линейных однородных уравнений относительно неизвестных коэффициентов  $\varphi_{mn}$ ,  $w_{mn}$ . Приравняв детерминант системы к нулю, получаем уравнение относительно частот собственных колебаний пластины  $\omega_{mn}$ . Приведем следующие результаты расчетов для коротких и длинных плит.

Исследовано влияние контурных элементов, ребер жесткости и переломов на границе смежных плит на собственные частоты, а также определены прогибы при поперечных колебаниях плит, соответствующие главным формам свободных колебаний. Рассмотрены железобетонные плиты, квадратные в плане 3x3 м и 18x18 м [4–5]. Плиты подкреплены бортовыми балками, поперечное сечение которых имеет вид трапеции.

Получены следующие результаты для плиты 3x3 м в плане: при увеличении числа членов в разложении (5) частота свободных колебаний гладкой плиты колеблется в следующем диапазоне. Например:

$$\omega_{12} = 8.46 \text{ Гц}, \quad \omega_{21} = 8.46 \text{ Гц}, \quad \omega_{22} = 13.54 \text{ Гц}, \\ \omega_{31} = 16.92 \text{ Гц}, \quad \omega_{32} = 22.00 \text{ Гц}, \quad \omega_{33} = 30.46 \text{ Гц}.$$

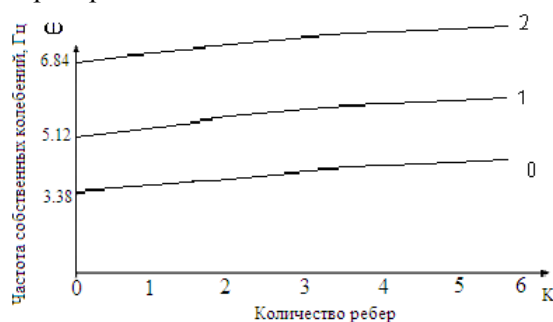
Максимальные прогибы так же колеблются в диапазоне от  $3.42 \times 10^{-5}$  до  $11.39 \times 10^{-5}$  м. Получены значения собственных частот при различном расположении ребер. Рассматривая плиту с ребрами без переломов, можно установить, что с увеличением числа ребер величина собственной частоты колебаний  $\omega$  увеличивается, что связано с увеличением жесткости системы. Минимальная частота соответствует  $\omega_{11}$ , т.е. одной полуволне синусоиды в двух направлениях. Например, при наличии двух ребер  $\omega_{11} = 4.26$  Гц, при наличии 4 ребер  $\omega_{11} = 4.85$  Гц, т.е. частота увеличивается на 13.8 %. При наличии ребер частоты собственных колебаний, соответствующие различным формам, изменяются в большом диапазоне: более высоким формам соответствует увеличение частоты. Например, для плиты с 3-мя ребрами  $\omega_{11} = 4.58$  Гц, а  $\omega_{13} = 34.14$  Гц, т.е. частота увеличивается в 7.4 раза; для плиты с 6 ребрами  $\omega_{33} = 57.18$  Гц, т.е. частота увеличивается в 12.5 раза. Зависимость частоты собственных колебаний от количества ребер для плиты 3x3 м в плане без и с переломами на границе представлена на рисунке.

Проанализируем влияние переломов плиты на свободные поперечные колебания. На практике часто используются сборные плиты. Между смежными плитами возможны малые углы перелома, которые влияют на общую картину деформации. В целом систему можно рассматривать как слегка вспарушенную плиту, состоящую из отдельных элементов. Связь между отдельными элементами можно по аналогии с оболочками представить в виде уравнений неразрывности деформаций по линии контакта с углом перелома  $\alpha$ . Рассматривая плиту 3x3 м в плане без ребер, но с одним переломом в направлении оси  $x$ , из рисунка можно увидеть, что частота собственных колебаний резко возрастает. Например, если для гладкой плиты  $\omega_{11} = 3.38$  Гц, то с переломом  $\omega_{11} = 5.12$  Гц, т.е. частота растет на 51.5 %. Наименьшая частота соответствует уже не первой, а более высоким формам, т.е.  $\omega_{\min} = \omega_{31} = 3.97$  Гц,  $\omega_{21} = 4.23$  Гц.

Наличие ребер для плиты с переломами кривизны в двух направлениях приводит к увеличению частоты собственных колебаний, причем  $\omega_{\min} = \omega_{11}$ . При наличии 3-х ребер  $\omega_{11} = 5.79$  Гц, без ребер  $\omega_{11} = 4.80$  Гц, т.е. частота уменьшается на 20 %,  $\omega_{33} = 6.29$  Гц, т.е. для плит с ребрами более высоким формам колебаний соответствует увеличение частоты на 31%. Для практических расчетов необходимо учитывать низкие частоты в диапазоне до  $n=m=5$ .

Рассмотрим плиту размером 18x18 м в плане. Получены значения собственных частот поперечных колебаний плиты с учетом ребер жесткости. Для гладкой плиты  $\omega_{\min} = \omega_{11} = 0.27$  Гц. Более высокие формы колебаний имеют частоты  $\omega_{12} = 0.68$  Гц,  $\omega_{32} = 1.78$  Гц. Для плиты с ребрами без переломов видно, что с увеличением числа ребер собственные частоты уменьшаются: например, при

наличии 3-х ребер  $\omega_{11}=0.26$  Гц, при наличии 6 ребер  $\omega_{11}=0.25$  Гц. Это объясняется увеличением массы системы за счет массы ребер.



Зависимость частот собственных колебаний  $\omega_{11}$  от количества ребер для плиты 3x3 м:

0 – плита без переломов; 1 – плита с переломом в одном направлении; 2 – плита с переломами в двух направлениях

Аналогично предыдущему расчету для квадратной в плане плиты 18x18 м без переломов расположение ребер незначительно влияет на значения частот. В основном, частоты собственных колебаний зависят от полной массы ребер, увеличение массы ребер приводит к уменьшению собственных частот. При наличии ребер частоты собственных колебаний увеличиваются при переходе к более высшим формам, причем с увеличением числа ребер частоты изменяются в большом диапазоне. Например, при наличии 2 ребер без учета кручения  $\omega_{11}=0.26$  Гц,  $\omega_{12}=0.70$  Гц,  $\omega_{23}=1.79$  Гц, при наличии 6 ребер  $\omega_{11}=0.25$  Гц,  $\omega_{13}=1.35$  Гц,  $\omega_{23}=1.66$  Гц, при наличии 12 ребер  $\omega_{11}=0.24$  Гц,  $\omega_{33}=2.16$  Гц. Проанализируем влияние переломов кривизны поверхности плиты на поперечные колебания. Наличие 1-го перелома резко увеличивает частоты собственных колебаний: например, для гладкой плиты  $\omega_{11} = 0.27$  Гц, с одним переломом  $\omega_{11}=0.41$  Гц. При этом наименьшая частота соответствует не первой форме, а более высоким формам:  $\omega_{\min} = \omega_{21} = 0.32$  Гц (2 полуволны в направлении оси x и 1 полуволна в направлении оси y). Рассмотрим влияние ребер на частоты собственных колебаний для плиты с переломами кривизны в одном направлении. Увеличение ребер приводит к незначительному уменьшению значений частот; минимальная частота при наличии ребер для плиты с переломами в одном направлении соответствует не первой, а более высоким формам. Например, для плиты с 1 переломом и с 1 ребром в направлении оси x  $\omega_{\min}=\omega_{51}=0.27$  Гц,  $\omega_{11}=0.39$  Гц, а при наличии 4 ребер  $\omega_{11}=0.35$  Гц,  $\omega_{\min}=\omega_{42}=0.25$  Гц. Аналогичная картина наблюдается и при наличии перекрестных ребер. Увеличение числа ребер плиты слабо влияет на значения основных частот, оно сказывается только на высоких формах колебаний.

Наличие переломов плиты в 2-х направлениях приводит к резкому возрастанию величины  $\omega$ . Например, для гладкой плиты  $\omega_{11}=0.27$  Гц, для плиты с 1-м переломом вдоль осей x, y  $\omega_{11}=0.54$  Гц, т.е. частота увеличилась почти вдвое. Минимальная частота при наличии переломов в 2-х направлениях соответствует первой форме колебаний. Более высоким формам соответствует незначительное увеличение  $\omega$ : например,  $\omega_{11}=0.54$  Гц,  $\omega_{12}=0.541$  Гц,  $\omega_{31}=0.542$  Гц,  $\omega_{14}=0.5423$  Гц,  $\omega_{15}=0.5424$  Гц. Картина изменяется, когда имеется несколько переломов в одном направлении. В этих случаях минимальная частота соответствует высоким формам колебаний: например, при 4 переломах  $\omega_{\min}=\omega_{31}=0.3$  Гц, при 5 переломах  $\omega_{\min}=\omega_{41}=0.28$  Гц. Наличие ребер для плиты с переломами в 2 направлениях приводит к снижению частоты собственных колебаний, причем  $\omega_{\min}=\omega_{11}$ . При наличии одного ребра  $\omega_{\min}=\omega_{11}=0.52$  Гц, а при 5 ребрах  $\omega_{11}=0.456$  Гц, при 10 ребрах  $\omega_{11}=0.40$  Гц.

Таким образом, исследование динамических характеристик для плит с дискретными включениями показало существенное влияние опорных элементов, ребер жесткости и возможных переломов на границе смежных плит на значения собственных частот поперечных колебаний. Для коротких плит наличие ребер жесткости и переломов существенно влияет на основные частоты, а для длинных – на высокие формы колебаний, учет деформации кручения в ребрах жесткости уменьшает значения собственных частот в зависимости от размеров плит. Преобладающим видом деформации в ребрах для коротких плит являются растяжение и изгиб, для длинных необходимо учитывать также сдвиг и кручение.

- [1] Огибалов П. М. Изгиб, устойчивость и колебания пластинок. М.: МГУ, 1958. – 389 с.
- [2] Тимошенко С. П., Войновский - Кригер С. Пластины и оболочки. М.: Наука, 1966. – 636 с.
- [3] Григолюк Э. И., Толкачев В. М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. М.: Машиностроение, 1980. – 411 с.
- [4] Айталиев Ш. М., Достанова С. Х., Токпанова К. Е. Оболочечные покрытия и плитные перекрытия станций метрополитена (динамика). Алматы: КазАТК, 2006. – 256 с.
- [5] Достанова С. Х., Слямбаева А. К. Собственные поперечные колебания плит с учетом сдвиговых деформаций // Сб. матер. МНПК «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве». Алматы: ТОО «HitPrint», 2013. С. 164-167.

Казахская головная архитектурно-строительная академия

Дата поступления  
03.06.2016

*А.А. Кусаинов, С.Х. Достанова. Дискрет құшимчали плиталарнинг құндаланг тебраниидаги хусусий частоталари*

*Тўғри бурчакли плитанинг эркин құндаланг тебранииши кўрилган. Плитанинг динамик характеристикаларига турли ҳил кўринишидаги құшимчаларнинг таъсири тадқиқ этилди. Қўшимча сифатида ўзаро боғланган плиталарнинг чегараларидаги дискрет синишлар, мустақкамликни оширувчи қовургалар, контур элементлари кўрилган.*

*A.A. Kusainov, S.H. Dostanova. Own frequencies of transverse vibrations for the plates with discrete inclusions*

*Free transverse vibrations of rectangular slabs are considered. The effects of different types of inclusions on the dynamic characteristics of the plates are researched. As inclusions considered discrete fractures at the interface of adjacent plates, reinforcing ribs, contour elements.*

УДК 624.131

**М. КУСБЕКОВА, А. ТАСМАГАНБЕТОВА**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ В СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ РАЙОНАХ**

Просадочные грунты, как известно, являются неблагоприятными для строительства в сейсмическом отношении и по действующим нормам относятся к III категории строительства по грунтовым условиям [1]. Проектирование и строительство объектов на таких площадках существенно усложняются в отличие от площадок с «хорошими» грунтовыми условиями.

Одновременный учет воздействий от неравномерных деформаций просадочных оснований и сейсмике в расчетах зданий и проектировании представляет собой актуальную и сложную проблему. СНиП РК 2.03-30-2006 регламентирует проектирование объектов в сейсмических районах, а СНиП 2.01.09-91 [2] – на площадках, сложенных просадочными грунтами. Однако по СНиП 2.01.07-85 [3] «Нагрузки и воздействия» необходимо выполнять расчет только на одно особое воздействие, т. е. одновременно двух особых воздействий не должно быть. Отсюда возникает ряд вопросов, которые определяются тем, что сейсмические воздействия и просадочность грунтов входят в различные особые сочетания нагрузок в соответствии с действующими нормативными документами и как ими пользоваться на практике.

Изначально было принято не совсем правильное представление сочетаний данных воздействий, что во время землетрясения не могут происходить одновременно просадочные деформации и сейсмические воздействия, поэтому нет необходимости одновременного учета данных воздействий. Действительно, при длительности землетрясений в несколько десятков секунд, не могут произойти просадочные деформации в грунте. Однако сложность проблемы заключается в том, что здания и сооружения получают деформации от просадочной деформации грунта до землетрясения и конструкции находятся в напряженном состоянии, а иногда в преднапряженном состоянии. Во время землетрясения добавляются сейсмические нагрузки и такие конструкции получают повреждения или разрушения.

Сложность проектирования и строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах подтверждается и практикой строительства, и эксплуатацией зданий. В зданиях, которые возводились в этих условиях без должной исследовательской подготовки и учета специфических условий, нередко возникали недопустимые деформации, а иногда аварийные ситуации. Примера-

ми такого положения являлись многие здания детских дошкольных и медицинских учреждений в г. Шымкенте. Стоимость восстановительных мероприятий в этих случаях доходила от 30 до 70 % стоимости самого объекта. Другим примером может служить неудачная застройка микрорайона в Северном поселке г. Душанбе в начале 1970-х годов – на адырных лёссовых грунтах. За несколько лет эксплуатации микрорайон оказался в аварийном состоянии. Жильцы были выселены, а здания разобраны. Если бы в период эксплуатации возникло землетрясение, этот район оказался бы наиболее пострадавшим.

В проектной практике широкое распространение получил расчет конструкций на одно особое воздействие, и это, как правило, сейсмическое, без расчета на второе особое воздействие, что является грубейшим нарушением требований других нормативных документов.

Ошибочность такого подхода к проектированию зданий и сооружений подтвердилась повреждением зданий от просадочных явлений до возникновения землетрясений в г. Чирчике в 1977 г., г. Измаиле в 1978 г. При этом особенно неблагоприятным было то, что повреждались элементы здания, обеспечивающие антисейсмическую защиту.

Необходимость исследований учета двух особых воздействий очевидна. Вместе с тем, простое суммирование усилий от просадки и сеймики будет неоправданным, так как вероятность одновременного возникновения наиболее неблагоприятных условий от просадки и сеймики мала, а одновременный учет этих воздействий приведет к значительному увеличению материалоемкости несущих конструкций зданий и сооружений.

Поэтому в общем случае воздействия от просадки и сеймики должны учитываться раздельно с расчетом элементов конструкций не на сумму дополнительных усилий от каждого воздействия, а на большее из них для данного элемента. И только когда вероятность одновременного возникновения просадок и сеймики возрастет, усилия от этих воздействий должны складываться, выражаясь, как это принято для особых воздействий, в виде корня квадратного из суммы квадратов усилий от каждого воздействия.

Аналогично этому должны осуществляться и защитные антисейсмические и противопросадочные мероприятия.

С точки зрения надежности, наиболее эффективным мероприятием является устранение просадочных свойств грунта на всю глубину просадочной толщи или прорезка ее глубокими опорами, например, сваями. Данные мероприятия регламентированы действующими нормативными документами и не нуждаются в дополнительных комментариях. Но при этом стоимость этих мероприятий становится сопоставимой со стоимостью самого объекта.

Однако на практике часто не удается решить данную проблему и в основании здания остается слой грунта с неустранимыми просадочными свойствами. Поэтому существует объективная необходимость проверки несущей способности строящегося объекта на воздействия от просадочных деформаций и принятия противопросадочных мероприятий. К сожалению, в нормативных документах нет четких критериев принятия данных мероприятий, поэтому они назначаются на основании опыта проектирования и «интуиции» проектировщика. Известно, что принимаемые конструктивные мероприятия улучшают работу зданий и сооружений, но при этом невозможно оценить количественно эффективность принимаемых решений.

Поэтому при разработке проектов для условий сеймики с просадкой при частичном устранении просадочности оснований должен быть определен комплекс конструктивных защитных мероприятий минимальной стоимости, обеспечивающий прочность и эксплуатационную пригодность сооружений в обоих видах условий. Обоснованный выбор такого комплекса возможен только при использовании уточненных расчетных моделей системы «здание–просадочное основание» в условиях сеймики.

Разработка моделей просадочного грунта представляет собой сложную и самостоятельную задачу и в данной работе не рассматривается. Поэтому следует пользоваться теми параметрами, которые существуют в нормативной литературе. Тем более, что в МСП 5.01-102-2002 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений» впервые регламентированы требования по определению нормативных и расчетных значений просадочных характеристик грунта. Теперь остается решить проблемы повышения качества выполнения инженерных изысканий и достоверности получаемых параметров. В этом отношении характеристики, приводимые изыскательскими организациями, не выдерживают критики – очень низкая доверительная вероятность приводимых значений в соответствии с требованиями ГОСТа 20522-96. Это понятно, пото-

му что данному вопросу не уделялось раньше такого внимания. По мере накопления данных и обработки результатов исследований в соответствии с действующими стандартами повысится и качество приводимых характеристик. Пока при отсутствии таких моделей и нормативных документов об оценке влияния сейсмичности на характеристики просадочных грунтов следует использовать по возможности более подробные расчеты модели взаимодействия здания с основанием отдельно при сейсмических воздействиях и отдельно при просадке.

Защитные антисейсмические и противопросадочные мероприятия могут быть подразделены на две группы:

- мероприятия, совпадающие для обоих воздействий;
- мероприятия, которые выполняются только для одного из воздействий, но не ухудшают работу конструкций в другом виде условий.

К мероприятиям первой группы относятся:

- разбивка здания на отдельные отсеки простой формы в плане с симметричными конструктивными схемами;
- увеличение жесткости фундаментно-подвальной части здания;
- превращение перекрытий из сборных элементов в жесткие горизонтальные диски;
- устройство по периметру стен поэтажных железобетонных поясов;
- увеличение площади опирания несущих конструкций;
- ограничение расстояния между поперечными стенами здания.

Мероприятия, относящиеся ко второй группе, приведены в таблице.

**Конструктивные антипросадочные и антисейсмические мероприятия**

Просадка	Сейсмика
1. Усиление конструкций здания для восприятия перерезывающих сил и изгибающих моментов, вызванных неравномерными просадками основания.	1. Усиление конструкций, в основном, для восприятия нагрузки от их веса и действия горизонтальных сейсмических сил.
2. Устройство деформационных швов, совмещенных с осадочными.	2. Устройство деформационных швов без разрезки фундаментов.
3. Устройство монолитной фундаментной плиты или монолитного пояса над сборными фундаментными подушками.	3. Устройство армированного шва по сборным фундаментным подушкам.
4. Водозащитные мероприятия основания здания от замачивания.	4. Принятие мер по максимальному совпадению центров масс и жесткостей конструкций в пределах отсеков зданий.
5. Устранение просадочных свойств грунта в пределах деформируемой зоны основания или на всю глубину просадочной толщи.	5. Создание условий, облегчающих развитие в конструкциях пластических деформаций при сейсмических воздействиях.
	6. Обеспечение свободного поворота отсеков здания (не допуская замыкания осадочных швов).
	7. Повышение монолитности шириной кладки и конструкций из сборных элементов.
	8. Использование только жесткой конструктивной схемы фундаментно-подвальной части здания (без устройства швов скольжения).
	9. Применение активных сейсмозащитных мероприятий (типа скользящих поясов, кинематических опор и т.д.).

Условия применения конструктивных противопросадочных и антисейсмических мероприятий остаются такими же, как и для силовых воздействий. С учетом независимости воздействия просадки и сейсмики несовпадающие мероприятия должны приниматься для каждого из воздействий, а совпадающие – по требованиям для того воздействия, для которого они более жесткие.

Например, если длина отсеков кирпичного пятиэтажного здания по противопросадочным требованиям (II тип грунтовых условий) не должна превышать 25–30 м, а по антисейсмическим (7 баллов) – 80 м, то в проектах, предназначенных для строительства в сейсмических районах на просадочных грунтах (7 баллов), длина отсеков не должна превышать 30 м.

Так, например, требование соединять панели сейсмостойких зданий замоноличенными бетоном шпоночными соединениями отсутствует для зданий на просадочных грунтах, но такое мероприятие не ухудшает работу конструкций при взаимодействии с просадочным основанием.

Повышенные требования к водозащитным мероприятиям при строительстве на просадочных грунтах II типа не обязательны в условиях сейсмике, но и не ухудшают условия работы здания и т.д.

Увеличение глубины заложения фундаментов, благоприятное для сейсмических условий, может привести к некоторому снижению расчетной просадочности, но могут увеличить расчетные усилия от горизонтальных перемещений. Восприятие контактных усилий при встречных кренах отсеков в уровне перекрытий эффективно только на просадочных грунтах и не применимо в условиях сейсмике.

Большие расчетные величины просадок требуют выбора наиболее рациональных конструктивных защитных мероприятий из общего перечня противопросадочных и противосейсмических мероприятий.

Таким образом, защитные антисейсмические и противопросадочные мероприятия могут быть совпадающими и не совпадающими, поэтому следует принимать такие мероприятия, которые не ухудшают работу конструкций в обоих воздействиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] СНиП РК 2.03-30-2006. Строительство в сейсмических районах. Алматы, 2006. – 80 с.
- [2] СНиП 2.01.09-91. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Госстрой СССР. М.: АПП ЦИТП, 1992. – 32 с.
- [3] СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия /Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 36 с.

Казахский национальный технический университет  
им. К.И. Сатпаева

Дата поступления  
02.06.2016

*М. Кусбекова, А.Тасмаганбетова. Сейсмик хавфли худудларда чўкувчан грунтларда объектларни лойиҳалаш.*

*Мақолада объектларни лойиҳалашдаги иккита муҳим таъсирлар, грунт асосни чўқиши ва сейсмик таъсирларнинг асослари келтирилган. Ҳисоблашлар асосида қабул қилинган конструктив тадбирлар асосланди. Кўрилатган майдонда лойиҳалаштиришда қўлланиладиган чўқишга қарши ва антисейсмик ҳимоялар келтирилди.*

*M. Kusbekova, A. Tasmaganbetova. Designing objects on subsidence soils in seismic dangerous areas*

*The report describes the features of design objects with two special effects from subsidence of the Foundation soil and seismic effects. The necessity of taking constructive measures on the basis of the calculation justification. Given protective anti-seismic and anti-subsidence events used in the design of the considered venues.*

УДК 624.012

**Ж. Ы. МАМАТОВ, Ж.Ш. КОЖОБАЕВ, Б.С. МАТОЗИМОВ, Б.С. ОРДОБАЕВ**

### **ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ И ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА НА СЕЙСМОПЛАТФОРМЕ КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ**

Землетрясения обычно происходят в горных и сформированных из горных пород местностях. Как известно, Кыргызстан является сейсмически активной горной областью, расположенной на множестве тектонических разломов, поэтому вполне объяснимо присутствие угрозы разрушительных землетрясений. По данным литературных источников, проведены сбор и классификация сведений об исторической сейсмичности, а также аналитический обзор результатов исследований, посвященных оценке сейсмологических условий в Кыргызской Республике (РК).

По результатам оценок исторической сейсмичности установлено, что подавляющее число землетрясений, произошедших в КР и в Ферганской долине, имело интенсивность 7–8, 9 баллов и более [1].

За последние 105 лет здесь произошло свыше 30 таких толчков, один из которых был более 9-балльным в 1911 г. в Кеминском районе, большинство их очагов неглубокие, если не считать отдельных, расположенных на глубине 25 – 30 км.

Территориально, например в Ферганской долине, эпицентры этих землетрясений расположены, главным образом, в узкой полосе вдоль течения р. Карадарья по линии Куршаб – Андижан – Наманган и носят, в основном, локальный характер. Их очаги более или менее закономерно мигрируют во времени, перемещаясь с востока на запад и обратно, что объясняется наличием активных тектонических разломов в этом районе.

Практически все землетрясения КР и Ферганского региона связаны с глубинными тектоническими структурами.

По данным проведенного аналитического обзора [1] собраны и классифицированы сведения об анализе последствий произошедших или проявившихся в КР и Ферганском регионе землетрясений.

В частности, были собраны сведения о последствиях следующих землетрясений: землетрясения 838 г. в Фергане; землетрясения 1602 г. в северной части Ферганской долины; разрушительного землетрясения в Фергане в начале XIX в.; 9 – балльного землетрясения 1821 г. в Фергане; Андижанского катастрофического землетрясения 2(16) декабря 1902 г.; Куршабских 6 и 12 июля 1924 г. землетрясений; Джалал-Абадского землетрясения 1926 г.; Маркайского землетрясения Завгуста 1962 г. и Кеминского землетрясения 1911 г.

Исторически сложилось так, что жилые здания на территории КР, в основном, построены из глинистых материалов. Отметим, что и процесс строительства новых жилых домов подобным способом производится и на жилмассивах г. Бишкек.

Использование глины в строительстве издревле практиковалось в странах с жарким и сухим климатом в Египте, Иране, Турции, Китае и др. Как показывает исторический опыт, широкому распространению сооружений из глины способствовали легкость приготовления, доступность, повсеместность сырья, отсутствие транспортных расходов и дешевизна [2].

#### **Результаты разрушений за последние 10 лет землетрясений**

В последние годы произошли десятки землетрясений силой более 6 баллов. Даже такие относительно небольшие землетрясения вызывают большие проблемы, примером служат произошедшие землетрясения:

1) В результате семибалльного землетрясения разрушено более 6 тыс. домов в Кочкорском районе Нарынской области в 2006 г. (магнитудой 6,6 по шкале Рихтера), а также, в Ноокатском, Карасууйском, Узгенском районах Ошской области 2007г.

2) В результате восьмибалльного землетрясения 5 октября 2008 г. в Алайском районе Ошской области (рис.1) 75 человек погибли, более 100 были ранены, а также разрушены 144 жилых дома, повреждены дороги.



Рис.1. Состояние домов после землетрясения в с. Нура 2008 г.

3) 20 июля 2011 г., село Кан Кадамджайского района Баткенской области, землетрясение силой 8 баллов по 12-балльной шкале MSK-6. Самый большой ущерб понес Узбекистан, где по оценкам МЧС погибли 13 человек, 86 гражданам была оказана первая медицинская помощь, а в КР зафиксировано частичное разрушение 83 зданий по Кадамджайскому району.

4) 28 января 2013 г. землетрясение в нескольких районах Иссык-Кульской области, сила толчков достигла 6,5 балла по шкале MSK-64, эпицентр находился в Казахстане в 100 километрах от Чолпон-Аты. В Тюпском районе пострадало 103 жилых дома.



5) землетрясение 14 ноября 2014 г. в поселке Каджи-Сай Тонского района Иссык-Кульской области, по данным МЧС, эпицентр землетрясения силой 7 баллов – в 17 километрах северо-восточнее поселка Каджи-Сай и в 60 километрах от села Тон.

6) землетрясение 17 ноября 2015 г. в селе Чайчи сельского округа Кызыл-Суу Кара-Суйского района, сила толчков во время ночного землетрясения составила 7 баллов. По данным Института сейсмологии НАН КР, магнитуда землетрясения составила 6.4. После происшествия Комиссия по гражданской защите Ошской области обследовала 3 381 жилой дом, из которых разрушения I степени зафиксированы в 897 домах, II – в 1 401, III – в 856 и IV – в 227.570 домов признаны аварийными в селах Ошской области (рис. 2).

Анализ результатов последних землетрясений показывает, что большинство частных домов, не отвечающие строительным нормам, разрушились и привели к тяжелым, трагическим последствиям. Например, произошедшее 5 октября 2008 г. сильное землетрясение в селе Нура привело к большим человеческим жертвам и наглядно показало, что люди, в основном, не подготовлены к стихийным бедствиям. Практически все жилые дома, построенные преимущественно из глинистых материалов и без соблюдения норм сейсмостойкости, полностью разрушены. Здесь, главным образом, здания возведены традиционным методом – с выполнением строительных элементов из глинистых материалов, точнее дома со стенами, выполненными из кладки сырого (необожженного) кирпича (см. рис.1).



Рис.2. Состояние домов после землетрясения в Кара-сууйском районе 2015 г.

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что подавляющая часть Кыргызстана и Ферганской долины подвержена 8–9-балльным землетрясениям, т.е. не раз испытала на себе разрушительные последствия катастрофических землетрясений, принесших огромный материальный и социальный ущерб.

При этом как при недавних землетрясениях, так и датирующихся более ранними периодами времени наиболее уязвимыми в сейсмическом отношении объектами, получающими наиболее тяжелые повреждения, являлись и являются индивидуальные жилые здания, возведенные частными застройщиками из местных материалов.

Однако из действующих технических норм Кыргызской Республики СНиПа КР 20-02:2009 [3] были изъяты «строительство в сейсмических районах зданий стены из глинистых материалов», которые были введены в СНиП КР 20-02:2004 [4]. Эти здания, как здания со стенами из малопрочных материалов в большинстве своём возведены без соблюдения каких-либо антисейсмических мероприятий и характеризуются как наиболее уязвимые в сейсмическом отношении.

**Результаты экспериментов и их обсуждение.** В работе [5] выделены четыре способа строительства жилых домов из местных материалов, практически реализуемых на территории Кыргызстана:

1. Дома со стенами, сооруженными из глинобитного «сокмо» – материала или пахсы, либо из различных глиняных кусков неправильной формы.
2. Дома со стенами, сооруженными из кладки сырого (необожженного) кирпича или блоков правильной формы.
3. Дома с деревянным каркасом с заполнением из глиняных материалов – «сынчевые».

4. Дома из железобетонного каркаса с заполнением из сырого кирпича или различных материалов из глины.

В данной статье остановимся подробно на анализе первых двух типов, в которых дома были возведены, где произошли землетрясения:

1. «Сокмо» или «Пахса» – наиболее распространенный метод возведения стен при строительстве из материалов на территории Кыргызской Республики – глинобитная технология. При возведении глинобитной стены применяются специально сделанные формы или опалубки высотой 50–60 см. Кладка похожа на кладку кирпича-сырца, но соединение углов получается слабое. При возведении глинобитной стены применяют «сокмо» – глинобитные трамбовки. Для изучения поведения таких домов был проведен эксперимент такого дома на сейсмоплатформе КГУСТА им. Н. Исанова. При сооружении этой модели использовали глину, хотя в большинстве случаев на практике используют почву, добытую в том месте, где строится дом, или в его окрестности. Такие дома могут рассматриваться только как временное жилье. Результаты эксперимента показали, что модели домов, построенных по методу «сокмо», уже при 5–6-балльном (по показателю ускорения) землетрясении полностью разрушаются (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид модели дома «сокмо» после эксперимента

*Пахса* – это часть глиняной стены высотой 50–60 см, возводимая с помощью специальных опалубок. Для её изготовления глиняная масса смешивается с заранее рассыпанной на ткани соломой. Далее масса оборачивается в ткань, обкатывается и укладывается («гуаляк») по всему периметру здания рядами. Между укладкой слоев должно пройти некоторое время, пока нижний слой не высохнет, затем ставится следующий слой. Другими словами, требуется продолжать укладку каждого следующего слоя только после того, как нижний слой стены – пахса будет способен выдержать вес следующего круга.

2. Дома со стенами, сооруженными из «кирпича-сырца» и блоков правильной формы, часто встречаются в сельской местности и в новостройках пригорода города Бишкек. Особенность стен такого типа состоит в том, что благодаря подгонке кирпичей и блоков в угловых соединениях не происходит оседания стен. Кладка при этом почти не отличается от кладки обожженного кирпича. Толщину стен из сырцового кирпича можно принимать в 1; 1.5 или 2 кирпича, а из блоков правильной формы – 1 или 1.5 блока. Данный тип стен возводится без соответствующего усиления, также как и предыдущий не является сейсмостойким. Для того, чтобы показать наглядно простой метод усиления таких стен, была построена масштабная модель дома на сейсмоплатформе КГУСТА им. Н. Исанова, причем заранее сделано сравнительно недорогое усиление. Основная особенность его состоит в укреплении изнутри и снаружи стены сетками из шнуров с поверхностным торкретированием песчано-цементной смесью. По результатам проведенного эксперимента

получено, что у модели дома, воздвигнутого из кирпича-сырца с простым усилением, устойчивость к землетрясению заметно выше по сравнению с домом из простого “сокмо” (рис. 4).



Рис. 4.Общий вид модели дома из кирпича-сырца после эксперимента

На этом рисунке можно заметить множество полезных сторон усиленной модели, как, например, перетяжка сетки из шнуров и разбрызгивание песчано-цементной смеси под высоким давлением позволяет штукатурке надежно сцепляться со стеной. При 6–7-балльном (по показателю ускорения  $60 \text{ см/с}^2$ ) землетрясении штукатурка осталась прилипшей к стене и не отвалилась, что доказывает ее относительную устойчивость к землетрясению.

По результатам сравнительного анализа процессов повреждаемости и разрушения малоэтажных зданий при землетрясении и проведении эксперименту, представленных конструкций домов отмечается сходные процессы появления трещин и разрушения:

– Дома со стенами, сооруженными из глинобитного материала “сокмо” или различных грунтовых (глиняных) кусков неправильной формы, часто подвергаются разрушению, что является следствием несвязанности несущих конструкций между собой, отсутствия антисейсмических мероприятий и неправильной эксплуатацией домов (см. рис. 2–3).

– Дома со стенами, сооруженными из необожженного кирпича или блоков правильной формы, а также пахсы отмечаются тем, что в местах соединения углов кирпичи или блоки подгоняются друг к другу крест-накрест, тем самым, не позволяя стенам разойтись, да и устойчивость кирпичных стен намного превосходит характеристики других материалов, изготовленных из глины. Пахсовые дома сохраняют относительную устойчивость вследствие того, что по всему периметру осуществляется кладка с добавлением различных связующих добавок, – это создает единую монолитную конструкцию. Но на практике, как показывают результаты произошедших землетрясений, нет надежной связи между отдельными конструкциями, такими как фундамент – стена, стена с покрытием (см. рис.1).

– Если стены из необожженного кирпича такого дома с двух сторон усилить (укрепить), покрыв сеткой и сверху под сильным давлением разбрызгать песчано-цементный раствор (штукатурку), как сделано на модели такого дома, то по результатам эксперимента 4 мая 2012 г. представленным в виде записи колебаний сейсмоплатформы выраженных в ускорениях  $60 \text{ см/с}^2$ , здесь только штукатурка начинает разрушаться (см рис.4.).

– По результатам эксперимента 4 сентября 2012 г. в виде записи колебаний сейсмоплатформы на модели дома «сокмо»-полное разрушение соответствует значению ускорения  $188 \text{ см/с}^2$  (см. рис.3).

Выражаем благодарность Благотворительному Общественному Фонду «Хабитат–Кыргызстан» за оказанную материальную помощь при проведении экспериментов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рашидов Т.Р., Кондратьев В.А., Нишонов Н.А. Основные результаты исследований по программе «Оценка технического состояния объектов частной жилой застройки Ферганской долины и разработка рекомендаций по обеспечению и повышению их сейсмостойкости (по последствиям прошедших и Ферганского 2011 г. землетрясений)» // Вестник 1(51) КГУСТА им. Н. Исанова. Бишкек, 2016. С. 270–277.
- [2] Маматов Ж.Ы. Моделирование и экспериментальный анализ жилых зданий из местных материалов // Science, technology and life-2015. Proceedings of materials the international scientific conference 24-25 December 2015. Czech Republic, Karlovy Vary-Russia. Moscow, 2015. P. 131-143.
- [3] СНиП КР 20-02:2009. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Бишкек: Госагентство по архитектуре и строительству КР. 2009. – 103 с.
- [4] СНиП КР 20-02:2004. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Бишкек: Госкомархстрой, 2004. –80 с.
- [5] Маматов Ж.Ы. Жергиликтүү материалдар менен коопсуз үйлөрдү тургузуу. Бишкек: Аль Салам, “Хабитат-Кыргызстан” Кайрымдуулук Коомдук Фонду, 2013.– 80 б.

Кыргызский государственный университет строительства,  
транспорта и архитектуры им. Н.Исанова

Дата поступления  
06.06.2016

*Ж.Ы. Маматов, Ж.Ш. Кожобаев, Б.С. Матозимов, Б.С. Ордобаев. Кыргызстон давлат курилиш, транспорт ва архитектура университетидеги сейсмоплатформада ўтказилган тажрибалар ва zilzilalarда кам қаватли биноларнинг зарарланиш жараёни*

*Қирғизстон Республикасидаги яқка тартибдаги турар жой объектларини зарарланиш даражасини, сейсмик мустаҳкамлигини ва техник ҳолатини боҳолаш кўриб ўтилган; маҳаллий материаллардан қурилган кам қаватли биноларнинг моделларида ўтказилган тажрибалар таҳлил қилинган.*

*J.I. Mamatov, J.Sh. Kojobaev, B.S. Matozimov, B.S. Ordobaev. The process of destruction of low-rise buildings in the earthquake, and the experiment on seismoplatform Kyrgyz state university of construction, transport and architecture*

*Considered assessment of technical condition, earthquake resistance and degree of damageability of private residential development and analysis of experiment data CD on low-rise buildings built from local materials.*

УДК 624.04:[624.042.7+699.841]

**Ю. Л. РУТМАН, А. Я. НИДЖАД**

### УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ МАКРОМОДЕЛЬ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ К РАСЧЕТУ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Для анализа работы пластического ресурса сооружений при сейсмических воздействиях широко используется упругопластическая модель с одной степенью свободы [1, 2]. В [3] предложено обобщение этой модели. Упругопластическая макромодель в [3] позволяет рассматривать упругопластические системы с двумя и более степенями свободы, подверженные сложному (непропорциональному по отдельным компонентам) нагружению.

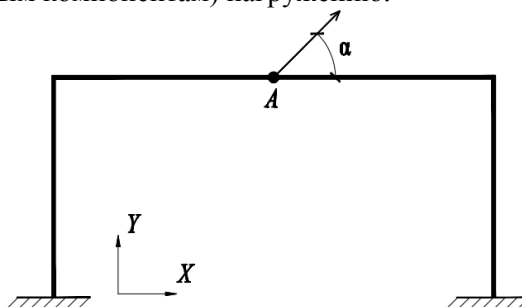


Рис. 1. Расчетная схема системы

Уравнения упругопластической макромодели (без упрочнения) для системы с двумя степенями свободы (рис.1) будут иметь вид

$$\begin{cases} M(\ddot{U}_x + \ddot{X}) = R_x \\ M(\ddot{U}_y + \ddot{Y}) = R_y \end{cases} \quad (1)$$

В условиях упругой работы конструкции

$$\begin{cases} \dot{R}_x = D_{11}\dot{U}_x + D_{12}\dot{U}_y \\ \dot{R}_y = D_{21}\dot{U}_x + D_{22}\dot{U}_y \end{cases} \quad (2)$$

В условиях упругопластической работы

$$\begin{cases} \dot{R}_x = f_{11}(R_x, R_y)\dot{U}_x + f_{12}(R_x, R_y)\dot{U}_y \\ \dot{R}_y = f_{21}(R_x, R_y)\dot{U}_x + f_{22}(R_x, R_y)\dot{U}_y \end{cases} \quad (3)$$

где  $\ddot{X}, \ddot{Y}$  – проекции ускорения основания рамы на оси  $X, Y$ ;  $\ddot{U}_x, \ddot{U}_y$  – проекции на оси  $X, Y$  ускорения массы  $M$  относительно основания;  $R_x, R_y$  – проекции на оси  $X, Y$  усилий взаимодействия между массой и рамой;  $D_{ij}$  – упругие жесткости системы.

Здесь

$$f_{11} = \frac{\phi_2^2(D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{D_{22}\phi_2^2 + 2\phi_1\phi_2D_{12} + D_{11}\phi_1^2}; \quad f_{12} = f_{21} = -\frac{\phi_1\phi_2(D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{D_{22}\phi_2^2 + 2\phi_1\phi_2D_{12} + D_{11}\phi_1^2}; \quad (4)$$

$$f_{22} = \frac{\phi_1^2(D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{D_{22}\phi_2^2 + 2\phi_1\phi_2D_{12} + D_{11}\phi_1^2};$$

$$\phi_1 = \frac{\partial F}{\partial R_x}, \quad \phi_2 = \frac{\partial F}{\partial R_y}; \quad F(R_x, R_y) = 0. \quad (5)$$

Выражение (5) – это уравнение поверхности текучести для рассматриваемой системы.

Уравнения (4), (5) можно обобщить и учесть упрочнение материала. Это сделано в [4]. С учетом упрочнения уравнения (4) преобразуются к следующему виду:

$$\begin{aligned} f_{11} &= \frac{\lambda\sqrt{\psi_1^2 + \psi_2^2}D_{11} + B\psi_2^2}{\lambda\sqrt{\psi_1^2 + \psi_2^2} + D_{11}\psi_1^2 + 2D_{12}\psi_1 \cdot \psi_2 + D_{22}\psi_2^2} \\ f_{12} = f_{21} &= \frac{\lambda\sqrt{\psi_1^2 + \psi_2^2}D_{12} - B\psi_1 \cdot \psi_2}{\lambda\sqrt{\psi_1^2 + \psi_2^2} + D_{11}\psi_1^2 + 2D_{12}\psi_1 \cdot \psi_2 + D_{22}\psi_2^2} \dot{U}_y \\ f_{22} &= \frac{\lambda\sqrt{\psi_1^2 + \psi_2^2}D_{22} + B\psi_1^2}{\lambda\sqrt{\psi_1^2 + \psi_2^2} + D_{11}\psi_1^2 + 2D_{12}\psi_1 \cdot \psi_2 + D_{22}\psi_2^2}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $B = D_{11}D_{22} - D_{12}^2$ .

Если  $\lambda = 0$ , то уравнения (6) переходят в (5).

Поверхность текучести системы является основой расчета по макромодели. В [5] предлагались два подхода для формирования поверхностей текучести:

а) решением задачи предельного равновесия для нагрузок, приложенных под разными углами к раме в точке  $A$  (при этом можно воспользоваться методом псевдожесткостей, который вложен в ПК «Ing+»);

б) расчетом рамы в ПК «ANSYS» при её упругопластическом нагружении в точке  $A$  силами, приложенными под разными углами.

Точность решения динамической задачи на основе (1)–(5) обусловлена точностью определения вектора  $R$ . Поэтому анализ адекватности предлагаемой макромодели состоит в установлении близости двух годографов вектора  $R$ , соответствующих приближенной и точной моделям. Для выполнения такого сравнения рассматривалась квазистатическая задача.

Эталонным считалось решение детальной конечно-элементной задачи в ПК «ANSYS». Для получения эталонного решения в ПК «ANSYS» осуществлено жесткое нагружение рамы, представленной на рис. 1. Параметр упрочнения принимался равным  $\lambda=0.01$ . Точка  $A$  принудительно перемещалась по следующим законам, показанным на рис. 2:  $u_x(t)=12 \cdot 10^{15}, t^{10}$ ,  $u_y(t)=0.07 (1 e^t)$ .

На рис. 3,а изображен годограф  $R$  для эталонного упругопластического решения, на рис. 3,б, в – поверхности текучести системы, определенные вышеуказанными методами. Разница между годографом эталонного решения и поверхностями текучести не превышает 10%.

По свойствам решений уравнений (1)–(5) годограф  $R$ , полученный при жестком нагружении системы, совпадает с исходной для макромоделли поверхностью текучести (5). Следовательно, если аппроксимация поверхности текучести рамы эллипсом (рис. 3) принята в качестве исходного для (1)–(4) соотношения (5), то годограф  $R$ , полученный из (1)–(4), совпадет с эллипсом на рис. 3. Таким образом, годограф  $R$  предлагаемой макромоделли совпадет с точностью до 10% с годографом  $R$  эталонного решения (см. рис. 3,а). Это, в свою очередь, означает требуемую для инженерных расчетов близость значений  $R$ , полученных из модели (1)–(5) и из детальных конечно-элементных моделей.

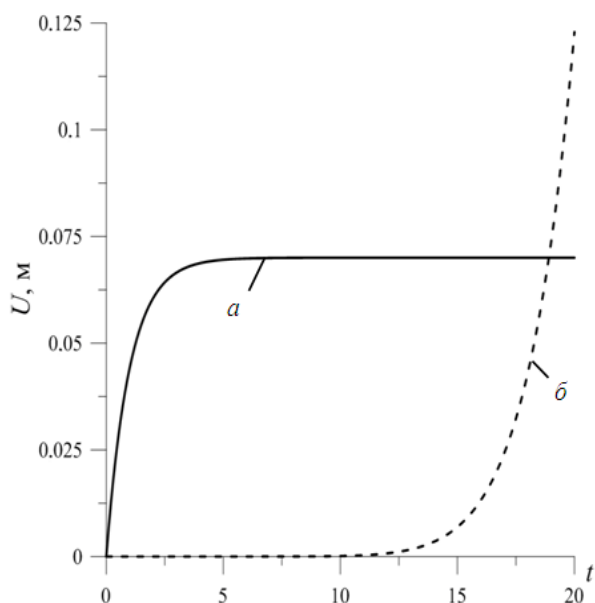


Рис. 2. Законы перемещения точки А:  
а) – по вертикали; б) – по горизонтали

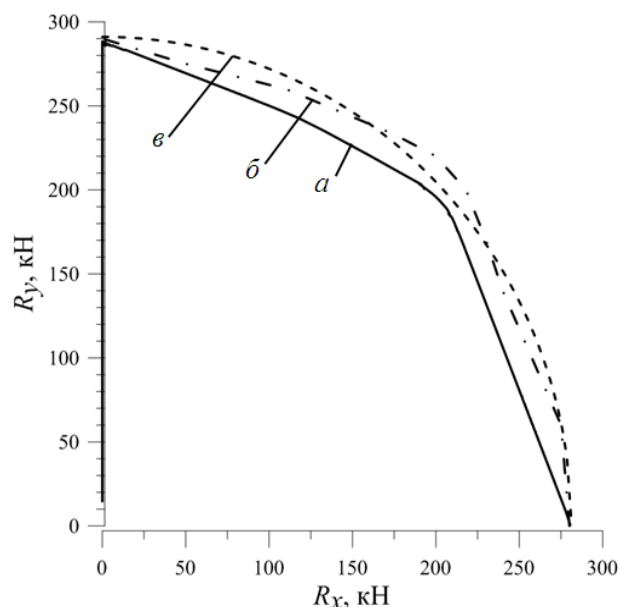


Рис. 3. Результаты квазистатической задачи:  
а – годографов вектора  $R$  при жестком нагружении рамы;  
б – поверхность текучести, полученная в ПК «ANSYS»;  
в – поверхность текучести, полученная методом псевдожесткостей

В ПК «*Matlab*» была сделана программа для решения уравнений макромоделли с поверхностями текучести, описанных эллипсом. Алгоритм такой модели показан на рис.4.

В [6] было выполнено сравнение различных динамических расчетов рамы на воздействие инструментальной акселерограммы. Расчеты проводились с использованием упругопластической макромоделли, модели с одной степенью свободы и ПК «ANSYS». Последние считались эталонными.

В одном из расчетов рассматривалась двухэтажная рама с одним пролетом. Исходные данные:  $H_1=3\text{м}$ ,  $H_2=4,5\text{м}$ ,  $l=6\text{м}$ , сечения колонн и балок одинаковы – двутавровые, высота и ширина сечения – 200 мм, толщина стенки и полка – 20 мм, модуль упругости материала (стали)  $E=2.06 \times 10^5 \text{ МПа}$ , предел текучести  $\sigma = 245 \text{ МПа}$ ,  $m=200 \text{ т}$  на каждом этаже в середине пролета.

Перемещения верха рамы, при воздействии инструментальной акселерограммы (рис.5) показаны на рис. 6. Полученные данные свидетельствуют о том, что использование макромоделли дает результаты, более близкие к эталонному решению, чем модель с одной степенью свободы.

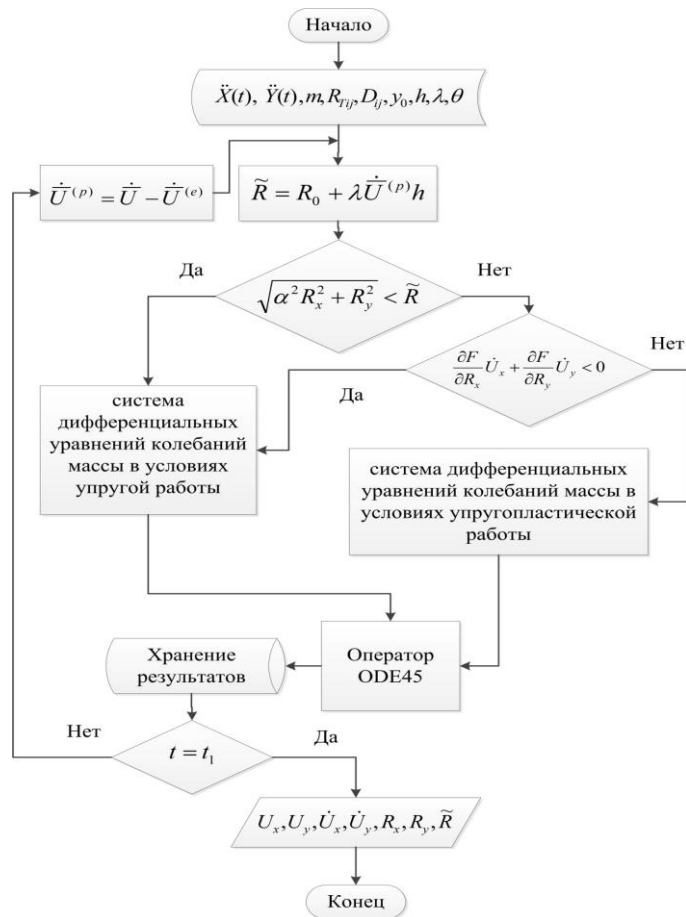


Рис. 4. Алгоритм динамической макромоделли с учетом упрочнения материала конструкций в ПК «Matlab»

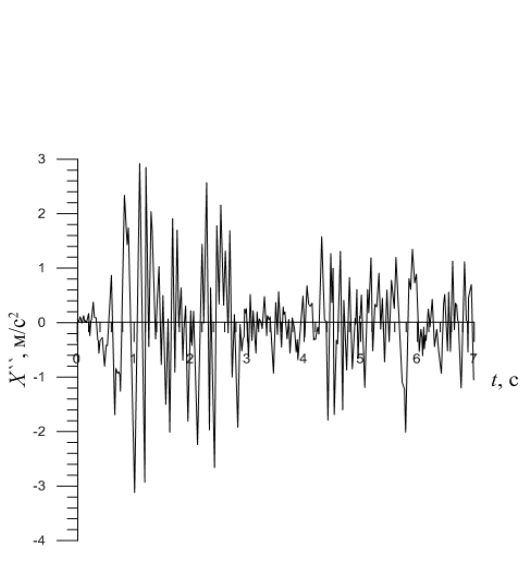


Рис. 5. Акселерограмма по X

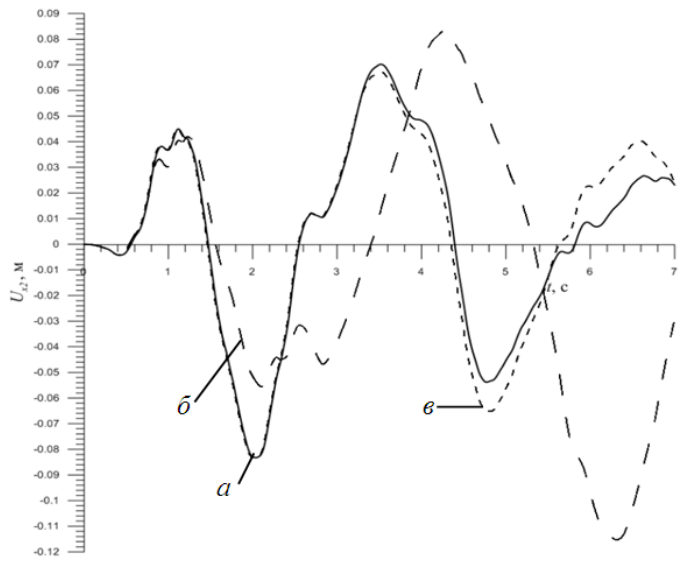


Рис. 6. Результаты перемещения верха рамы, полученные на основе использования: а – макромоделли; б – модели с одной степенью свободы; в – ПК «ANSYS»

Использование макромоделли возможно только при получении поверхности текущести для исследуемой системы. При расчете на сейсмические воздействия строительных конструкций обычно рассматриваются рамные конструкции. Поэтому представляет интерес исследование поверхности текущести рам. Такое исследование выполнено для разных рамных конструкций. Выяснено, что поверхности текущести таких конструкций имеют вид многоугольника (рис.7).

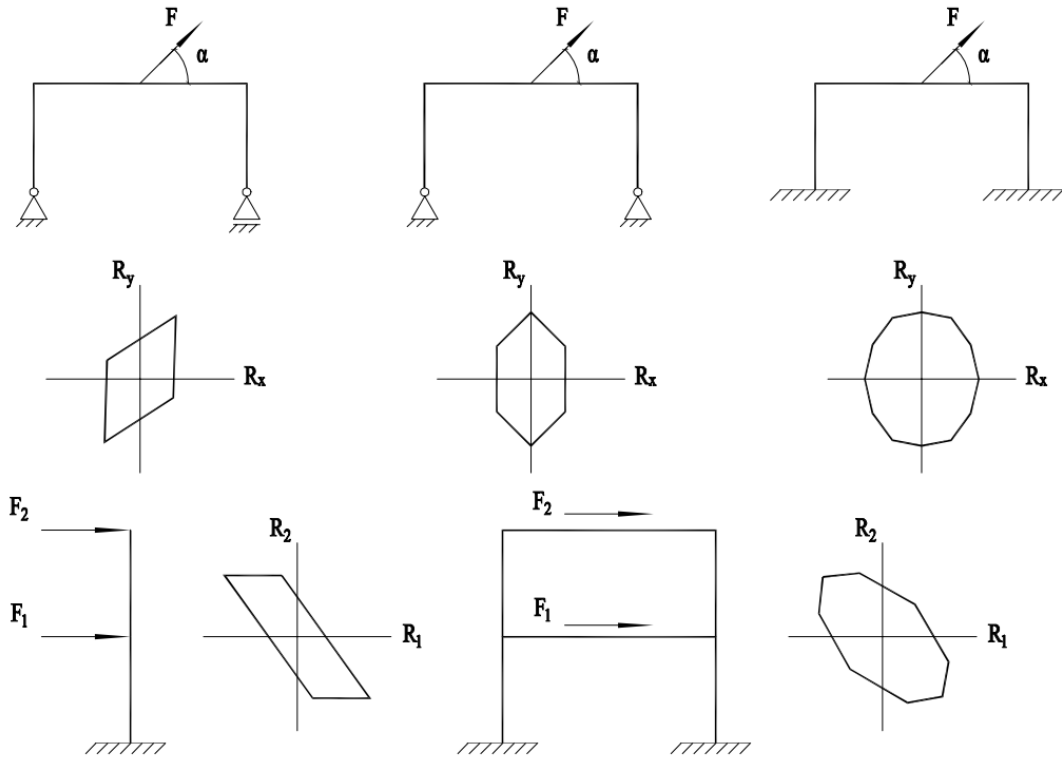


Рис. 7. Поверхности текучести некоторых рамных конструкций

Таким образом, можно полагать, что аппроксимация поверхности текучести эллипсом не очень точна для рамных конструкций. Поэтому необходимо уточнение созданной макромодели. Модель требует приспособления к многоугольным поверхностям текучести с учетом угловых сингулярных точек.

Поверхности текучести, имеющие вид многоугольника, аналитически описываются уравнением

$$a_i \cdot R_1 + b_i \cdot R_2 = c_i, \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $i$  – номер стороны многоугольника;  $n$  – число сторон многоугольника.

В (7) для каждого  $i$

$$\begin{cases} R_1 \in (R_{i,1}, R_{i+1,1}) \\ R_2 \in (R_{i,2}, R_{i+1,2}) \end{cases} \quad (8)$$

где  $R_{i,1}, R_{i,2}$  – компоненты векторов  $\bar{R}_i$ , соединяющих начало координат с  $i$ -м углом многоугольника текучести.

При движении  $\bar{R}$  по многоугольнику текучести возможны две различные ситуации:

а) Если  $R_z \in (R_{i,z}, R_{i+1,z})$ ,  $z = 1, 2$ , то вектор скоростей пластических перемещений  $\dot{U}^{(p)}$  [3] направлен по нормали к  $i$ -й стороне многоугольника текучести. В этом случае параметры  $\psi_1, \psi_2$  константы

$$\phi_1 = a_i, \quad \phi_2 = b_i. \quad (9)$$

б) Если

$$\bar{R} = \bar{R}_i, \quad (10)$$



то  $\dot{U}^{(p)}$  находится в секторах  $A_i B_i C_i$  (рис. 8). Уравнение (3) переходит в (10), исходя из чисто формальных соображений. Действительно, если  $\dot{U}^{(p)}$  находится в секторах, образованных перпендикулярами к сторонам многоугольника текучести, проведенными из угловых точек, то вектор  $\dot{U}^{(e)}$  [3] равен нулю. Следовательно, из (8) в [3]

$$\dot{U}_z = \dot{U}_z^{(p)} = K \cdot \phi_1, \quad z = 1, 2, \quad (11)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности.

Подставляя (11) в (3), получаем

$$\dot{R}_1 = \dot{R}_2 = 0, \quad (12)$$

что равносильно (10).

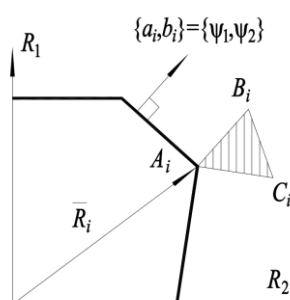


Рис. 8. Развитие макромоделли для многоугольных поверхностей текучести

Таким образом, для учета пластического ресурса при расчете зданий и сооружений на сейсмические нагрузки достаточно использовать упругопластическую макромоделли. Следовательно, можно обойтись без построения высокоразмерных динамических моделей в ПК «ANSYS», «COSMOS» и т.п.

Использование макромоделли дает результаты, более близкие к эталонному решению, чем при применении модели с одной степенью свободы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chopra A. K. Dynamic of structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. / Anil K.Chopra. New Jersey. Prentice-Hall, 2006.–794 p.
- [2] Ньюмрак Н., Розенблюэт Э. Основы сейсмостойкого строительства. // Под редакцией д-ра техн. наук Айзенберга Я. М. М.: Стройиздат, 1980. – 173с.
- [3] Рутман Ю. Л. Модель сложного упругопластического деформирования механической системы с несколькими степенями свободы // Вестник гражданских инженеров. СПб., 2012. № (1) 30. С. 117–120.
- [4] Рутман Ю. Л. Учет упрочнения в упругопластической макромоделли // Вестник гражданских инженеров. СПб., 2013. №4 (39). С. 110–113 .
- [5] Рутман Ю. Л., Ниджад А. Я. Проверка адекватности метода макромоделли // Вестник гражданских инженеров. СПб., 2012. № (3) 32. С. 137–142.
- [6] Ниджад А. Я. Сравнение динамических расчетов рамных конструкций на МРЗ с использованием упругопластической макромоделли и модели с одной степенью свободы // Морские интеллектуальные технологии. 2012. № 4 (18). С. 51–54.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Дата поступления

02.06.2016

**Ю.Л. Рутман, А.Я. Ниджад. Эластикпластик макромоделли ва унинг рама конструкцияларини сейсмик таъсирларга ҳисоблашда қўлланилиши**

Ушбу мақолада эркинлик даражаси иккига тенг бўлган эластикпластик макромоделли қўрилган. Моделли эркинлик даражаси бирга тенг бўлган сейсмик мустаҳкамлик назариясининг эластикпластик модели билан умумлаштирилди. Яъни бу моделда бошланғич маълумотлар конструкциянинг оқувчанлик сирти ҳисобланади, у ҳолда раманинг оқувчанлик сирти тадқиқ этилади ва уларни қуриш йўли таклиф қилинади. Рама конструкцияларини сейсмик таъсирларга ҳисоблаш учун макромоделли қўлланилиши кўрсатилган.

*Yu. L. Rutman, A.Y. Nidjad. Elastoplastic macro model and its application to the calculation of frame structures in the seismic effects*

*This article examines the elastoplastic macro model with two degrees of freedom. This model generalizes the famous in theory of seismic elastoplastic model with one degree of freedom. Since the initial data in the macro model is the structures yield surfaces, this study suggests the approaches to their formation. This article shows the macro model usage to the calculation of frame structures under seismic effects.*

УДК 624.131

Л.Р. СТАВНИЦЕР, Г.А. НИКИТАЕВА

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕМПИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

Опубликованные результаты [1–7] не позволяют образовать базу экспериментальных данных для многообразных грунтовых условий, поэтому в лаборатории динамики НИИОСП им.Н.М. Герсеевича разработан и реализован достаточно универсальный резонансный метод определения диссипативных характеристик образцов грунта любого вида. Идея метода основана на испытаниях пригруженного инерционной массой грунтового образца вибровоздействием переменной частоты с построением амплитудно-частотной характеристики, ширина которой в области резонанса является однозначной функцией логарифмического декремента колебаний.

Для целей работы использован вибростенд типа ESE 221 фирмы “RFT”, на котором проводилось измерение вязкоупругих характеристик образцов грунта. Эксперименты выполнены сотрудником лаборатории динамики грунтов НИИОСП к.т.н. А.И. Сердобольским.

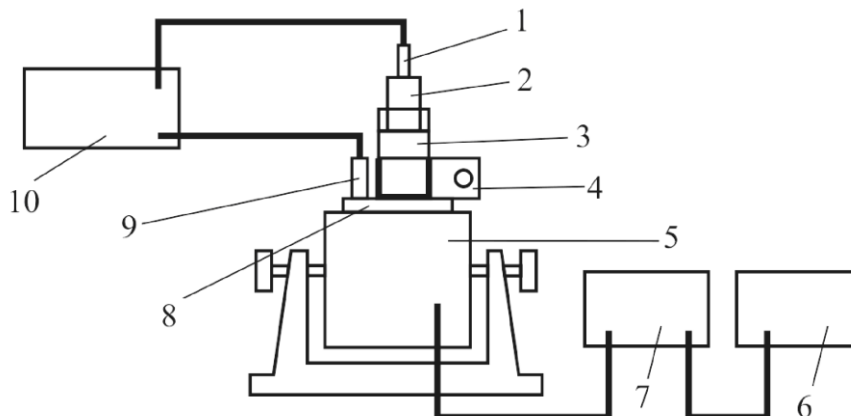


Рис.1. Схема установки по определению резонансным методом параметров демпфирования грунта: 1 – вибродатчик; 2 – пригруз; 3 – стакан с образцом грунта; 4 – стяжной хомут; 5 – вибростенд; 6 – низкочастотный генератор; 7 – усилитель мощности; 8 – торцевая поверхность возбуждителя колебаний; 9 – контрольный вибродатчик; 10 – трёхканальный вибровозбудитель

Схема виброизмерительного стенда приведена на рис.1. Комплекс включает возбуждатель колебаний (5) с жёстко закрепленным на его торцевой поверхности вибрационным болтом (8) со стяжным хомутом (4), позволяющим крепить к вибрационному болту цилиндрический стальной стакан (3) с образцом несвязного грунта. Образцы связного грунта могут быть установлены непосредственно на торцевую поверхность виброболта без стакана. Сверху на грунт устанавливается пригруз (2) с закрепленным на нем датчиком колебаний (1). Контрольный датчик колебаний, по которому задается уровень вибрационного воздействия (9), устанавливается сбоку от стяжного хомута на торцевой поверхности вибростенда.

Для регистрации колебаний использованы пьезодатчики типа KD22 производства фирмы RFT (частотный диапазон – 0 – 5 кГц, коэффициент передачи – 15.5 мВ/мс<sup>-2</sup>), усилитель мощности марки LV102 производства фирмы MMF (частотный диапазон – 3 Гц – 40 кГц), низкочастотный генератор сигналов марки ГЗ-120 (частотный диапазон – 5 Гц – 500 кГц, основная погрешность частоты не превышает  $(3 + 30/f_n)\%$  в диапазоне частот от 10 до 300 кГц и 5% в остальном диапазоне частот, где  $f_n$  – номинальное значение устанавливаемой частоты в Гц), трехканальный вибро-

измеритель SM231 фирмы RFT, позволяющий измерять виброускорение «а», виброскорость «v» и вибросмещение «γ» в диапазоне частот 2 Гц – 15 кГц.

С целью определения рабочего амплитудно-частотного диапазона воздействия, а также отладки измерительно-регистрирующих приборов проведены предварительные тарировочные испытания. В результате этих испытаний выбран частотный диапазон в 150 – 250 Гц, при этом амплитуда исходных вертикальных колебаний рабочего стола вибрационного стенда составляла 1 мкм.

При работе с несвязным грунтом определялась природная влажность, при необходимости грунт доводился до влажности требуемой величины, затем грунт уплотнялся в цилиндрическом стакане с последующим определением полученной плотности.

Стакан с образцом устанавливался на торцевой поверхности виброболта возбuditеля колебаний и закреплялся стяжным болтом. Сверху на свободную поверхность образца помещался пригруз с вибродатчиком, при этом контрольный вибродатчик размещался на поверхности вибрационного болта рядом со стяжным хомутом.

Цилиндрический стакан имел следующие параметры: диаметр – 0.05 м, высота – 0.098 м, площадь дна – 19.625 см<sup>2</sup>, масса – 16.6 г. Масса пригруза с датчиком составляла 586.64 г.

Контролируемой величиной при уплотнении образца являлась его масса, при этом соблюдалось постоянство отношения массы груза вместе со стаканом к массе пригруза с датчиком. Это соотношение в испытаниях составляло 0.33.

В процессе измерений возбуждались вынужденные продольные колебания образцов исследуемого грунта. С помощью верхнего пьезодатчика определялась амплитуда колебаний пригруза в зависимости от частоты источника колебаний.

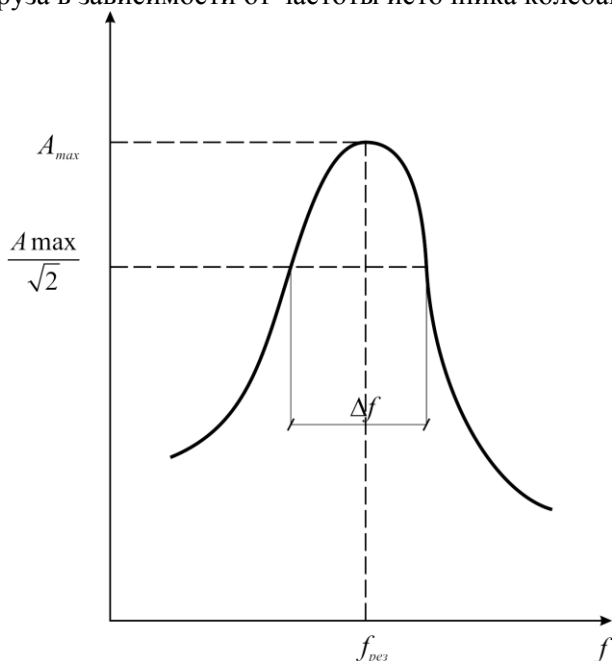


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика грунтового образца

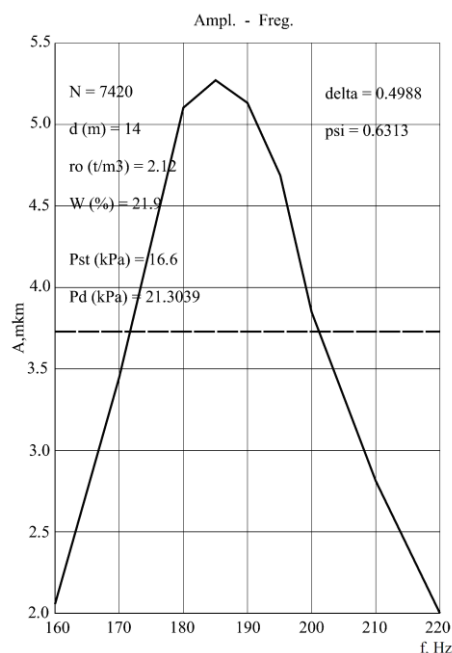


Рис. 3. Пример экспериментальной резонансной кривой для водонасыщенного песка

По полученным резонансным кривым амплитудно-частотной характеристики определялись частоты собственных продольных колебаний образца грунта  $f_{рез}$  и демпфирующие характеристики материала грунта: логарифмический декремент колебаний  $\delta$  и коэффициент поглощения  $\Psi$  (рис.2), для которых имеются известные из теории механических колебаний формулы.

Логарифмический декремент колебаний

$$\delta = \pi(\Delta f/f_{рез}).$$

Коэффициент поглощения

$$\Psi = 1 - \exp(-2\delta).$$

На рис. 3 приведен пример типичной экспериментальной кривой для образца песчаного водонасыщенного грунта.

Расчеты произведены с использованием интерактивной компьютерной программы MATLAB. В таблице представлены результаты выполненных для Нововоронежской, Курской и

Смоленской АЭС экспериментов с различными грунтовыми образцами, имеющих плотность  $\rho$  (т/м<sup>3</sup>) и влажность  $w$  (%).

**Эксперименты с различными грунтовыми образцами**

Объект	$\rho$	$w$	$\delta$	$\psi$
Нововоронежская АЭС	1.63	4.7	0.3397	0.4925
	1.72	5.7	0.2561	0.4008
	1.79	13.9	0.3534	0.5068
	1.66	3.3	0.4856	0.6221
	1.87	8.5	0.2262	0.3639
	1.66	16.4	0.2674	0.4142
	1.76	7.8	0.2262	0.3639
	2.17	25.4	0.2623	0.6201
	2.12	16.9	0.6201	0.7106
	2.12	16.9	0.6201	0.7106
Курская АЭС	1.91	10.4	0.4611	0.6001
	1.86	17.5	0.3604	0.5112
	1.85	21.3	0.4820	0.6203
	1.68	13.3	0.2933	0.4410
	1.91	17.4	0.3101	0.4611
	1.79	18.8	0.4706	0.6115
	1.83	33.1	0.3918	0.5418
	1.81	28.7	0.3110	0.5606
	1.60	28.7	0.3022	0.4513
	1.99	23.8	0.2820	0.4302
Смоленская АЭС	2.12	25.6	0.6426	0.7204
	1.78	8.84	0.2199	0.3558
	2.00	15.98	0.4295	0.5764
	1.85	16.49	0.1723	0.2915
	1.93	7.24	0.6077	0.7034
	2.01	11.44	0.4081	0.5579
	1.87	13.64	0.4477	0.5915
	1.99	17.80	0.4229	0.5708
	1.90	18.35	0.6646	0.7353
	1.85	17.23	0.2324	0.3718
1.79	19.20	0.1963	0.3248	
1.83	17.30	0.3481	0.5015	
1.82	15.03	0.6232	0.7125	
1.93	14.89	0.3005	0.4518	
2.06	9.18	0.2678	0.4076	
2.13	17.86	0.1882	0.3136	

Предлагаемый метод прост в техническом исполнении, кроме того, лишен погрешностей метода циклических нагружений и не требует предположения об адиабатичности процессов распространения колебаний в грунтах.

**ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Шехтер О.Я., Минеев Л.Н., Лёвшинский Д.С., Иванова Л.И. Лабораторная установка для определения упругих и диссипативных свойств грунта динамическим методом // Применение вибрации в строительстве. Сб. трудов НИИОСП. 1962. №51.– 58 с.
- [2] Гольдштейн М.Н., Царьков А.А., Черкасов И.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
- [3] Максимов Л.С., Шейнин И.С. Измерение вибрации сооружений. М.: Стройиздат, 1974. – 255 с.
- [4] Ставницер Л.Р. Деформации оснований сооружений от ударных нагрузок. М.: Стройиздат, 1966. – 128 с.
- [5] Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчёт. М.: Стройиздат, 1979. – 200 с.
- [6] Савченко И.А. Экспериментальное исследование коэффициента поглощения грунтов. Сб. трудов НИИОСП. 1961. №44. – 107 с.
- [7] Цейтлин А.И., Кусаинов А.А. Методы учёта внутреннего трения в динамических расчётах конструкций. Алма-ата: Наука, 1987. – 237 с.

Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова

Дата поступления  
10.05.2016

*Л.Р. Ставницер, Г.А. Никитаева. Резонанс усули билан грунтларни тўлқинларни пасайтириш (демпферлик) характеристикаларини тажрибавий аниқлаш*

Иниоотларнинг асос билан динамик ўзаротаъсирини ҳисоблаш бўйича компьютер дастурларидан фойдаланиш учун, грунтларнинг демпферлик хоссаларини характерловчи ютилиш коэффициентини, ишлаб чиқилган резонанс усули билан аниқланган. Усул виброрегистрация приборлари билан таъминланган, махсус лойиҳаланган қурилмада грунт наъмунасининг вибродинамик тажрибаларидан олинган амплитуда – частота характеристикаларини қайта ишлашга асосланган.

*L.P. Stavnitser, G.A. Nikitaeva. Experimental determination of soil damping characteristics by resonant-frequency method*

The resonant-frequency method of determining the absorption factors characterizing the soil damping properties has been developed for implementation of software programs on computation of dynamic interaction of foundation based constructions. This method is based on processing of amplitude-frequency characteristics of soil samples obtained from the vibrodynamical tests carried out on the specially constructed installation equipped with the vibro-recording instruments.

УДК 625.75:624.042:519.34

**Б.Б. ТЕЛТАЕВ, К.К. АЙТБАЕВ**

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПОДЗЕМНЫМ СООРУЖЕНИЕМ**

Цель настоящей статьи – оценка влияния подземных железобетонных коллекторов на формирование напряженно-деформированного состояния городской дорожной конструкции под действием автомобильной нагрузки.

Для достижения поставленной цели решаются задачи теории упругости на математических моделях городских дорожных конструкций с подземными железобетонными коллекторами и без них. Влияние подземных коллекторов выявим путем сравнения полученных результатов на различных моделях.

Плоские невесомые задачи о напряженно-деформированном состоянии дорожных конструкций решаются методом конечных элементов.

Городская дорожная конструкция с подземным теплопроводом состоит из трех асфальтобетонных слоев и основания из щебеночной смеси подобранного состава, покоящегося на слое из песчано-гравийной смеси, в котором устроены железобетонные коллекторы.

Применяемый здесь железобетонный коллектор является серийным изделием и имеет следующие геометрические размеры: общая ширина спаренного коллектора  $l_k=2.80$  м и их высота  $h_k=1.40$  м. Схематический вид рассматриваемой дорожной конструкция представлен на рис. 1.

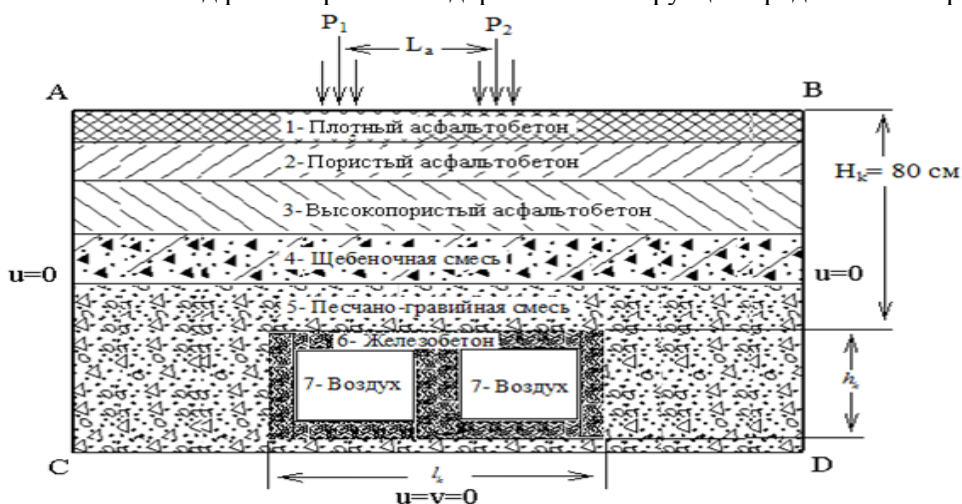


Рис. 1. Схематический вид дорожной конструкции: 1 – плотный асфальтобетон; 2 – асфальтобетон пористый; 3 – высокопористый асфальтобетон; 4 – щебеночная смесь подобранного состава; 5 – песчано-гравийная смесь; 6 – железобетонные стенки подземных коллекторов; 7 – воздух внутри коллекторов;  $L_a$  – ширина колеи транспортного средства;  $H_k$  – глубина заложения железобетонных коллекторов;  $P_1, P_2$  – нагрузки от колес транспортного средства;  $u, v$  – компоненты перемещения точек на границах в направлении координатных осей  $x$  и  $y$

Отличие дорожной конструкции общего пользования от рассматриваемой городской дороги состоит только в отсутствии в ней подземного сооружения. Здесь место подземных коллекторов будет заполнено песчано-гравийной смесью. Так как в обоих случаях размеры исследуемых областей будут одинаковыми, и их напряженно-деформированное состояние будет формироваться под действием одних тех же внешних сил, граничные условия приведем только для городской дороги с подземными коллекторами.

На боковых вертикальных границах исследуемой области (см. рис.1, линии AC и BD) отсутствуют горизонтальные перемещения ( $u = 0$ ), а на нижней границе исследуемой области (см. рис.1, линия CD) запрещены все перемещения ( $u = v = 0$ ). Вес автомобиля, передаваемый через колеса, прикладывается к верхней горизонтальной границе в виде распределенных вертикальных нагрузок в соответствующих узловых точках.

Так как задача решается в перемещениях и на границах исследуемой области, за исключением вертикальных нагрузок от автомобиля, задаются значения перемещений. Для составления уравнения равновесия выбирается метод минимизации полной потенциальной энергии системы, связанной с работой внутренних напряжений и внешней приложенной нагрузки [1, 2].

Для численной реализации соответствующих математических моделей разработана расчетная программа на MATLAB.

На рис. 2–4 приведены сравнения изолиний компонент тензора напряжений для дорожных конструкций с подземными коллекторами и без них.

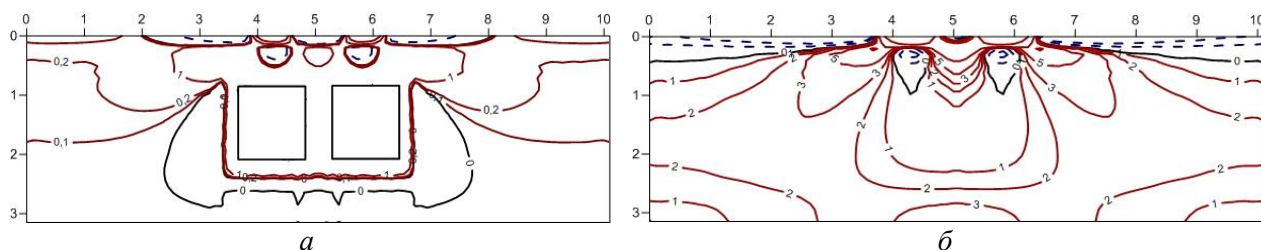


Рис. 2. Изолинии горизонтальных нормальных напряжений  $\sigma_x$  в дорожных конструкциях с подземными коллекторами (а) и без них (б)

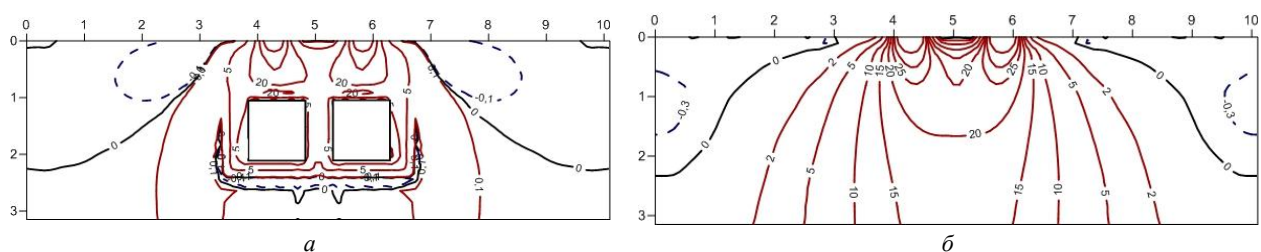


Рис. 3. Изолинии вертикальных нормальных напряжений  $\sigma_y$  в дорожных конструкциях с подземными коллекторами (а) и без них (б)

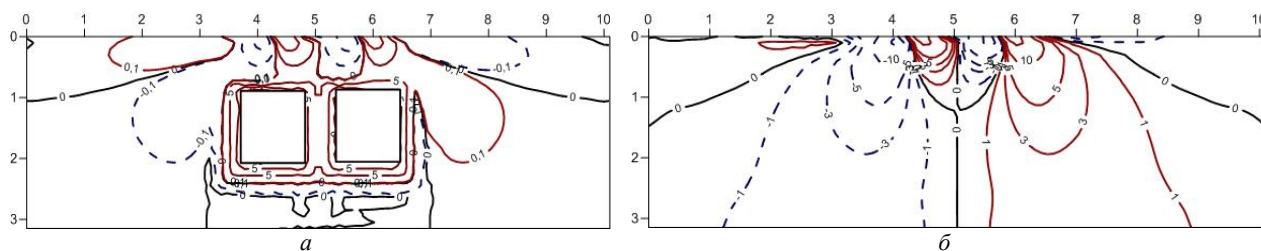


Рис. 4. Изолинии касательных напряжений  $\tau_{xy}$  в дорожных конструкциях с подземными коллекторами (а) и без них (б)

Сравнительный анализ изолиний напряжений в двух различных дорожных конструкциях указывает на существенное влияние наличия жесткого подземного сооружения на процесс формирования напряженного состояния в них. Это особенно проявляется в зоне между верхними поверхностями железобетонных коллекторов и дорожного покрытия, где градиенты напряжений представлены сложной картиной. Здесь под экранирующим влиянием жесткого подземного инженерного сооружения концентрируются напряжения, так как основная часть давления от колес

транспортного средства распределяется между точками указанной зоны. Причем максимальная концентрация напряжений возникает в угловых точках коллекторов, являющихся точками сингулярности.

Если в конструкции автомобильной дороги общего пользования максимальная концентрация напряжений формируется непосредственно вблизи точек приложения внешних нагрузок, то на городских дорогах с подземными коллекторами появляется еще одна зона концентрации напряжений, окаймляющая тело коллекторов. Последнее обстоятельство указывает на снижение общей прочности дорожной конструкции при наличии подземных инженерных сооружений. В этом случае вдоль линий концентрации напряжений вблизи границ коллекторов возможны разрушения от сдвиговых деформаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. – 392 с.  
[2] Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости // Перевод с англ. М.: Наука, 1975. С. 576.

Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт

Дата поступления  
13.06.2016

**Б.Б. Телтаев, К.К. Айтбаев. Ер ости иншоотли йўл конструкциясининг кучланганлик ҳолатини солиштирма тахлили**

*Мақолада ер ости темирбетон коллекторли шаҳар йўл конструкциясини эластиклик назариясининг текис масаласини чекли элементлар усулида ечиши йўли ҳисоблаб кучланишлар натижалари келтирилган. Ер ости коллекторли ва коллекторсиз йўл конструкциясида кучланиш тензори изолинияларини солиштирма тахлили келтирилган.*

**B.B. Teltayev, K.K. Aitbayev. Comparative analysis of stress condition for pavement with underground structure**

*This article shows the results of calculation for stresses in urban pavement with underground reinforced concrete collectors by solving of plain elasticity problem with finite element method. Comparative analysis was performed for contour curve of stress tensor component in pavement with underground collectors and without them.*

## МУНДАРИЖА

Н. А. Коршунова, М. И. Рузматов. Чегараланган уч жисм масаласининг доиравий бўлмаган ҳаракати ҳолидаоралиқ тортиш кучи қисмлар учун аналитик ечимлар.....	3
У. Н. Балтабаев, И. Н. Хусанов. Ноньютон ёпишқоқ-инерт деформацияланувчи мухитни механик модели ва уни икки қувур орасидан оқиш масаласини ечими.....	8
А. И. Каримов, А. У. Саримсаков, А. А. Рахманов. Таркиби вазнли заррачалардан ташкил топган аралашманинг суюқлик оқида стационар ҳаракати.....	14
Р. Х. Мухутдинова, Г. Т. Аюбов. Грунт тўғоннинг икки фазали гидроэластопластик система шаклидаги кучланганлик-деформация ҳолати ва устиворлигини акселерограммалар орқали берилган сейсмик кучлар таъсирида резонансга тушиш ҳолатини таҳлил қилиш.....	17
Ф. Х. Нишонов. Мураккаб қувурлардаги гидравлик зарбани моделлаштириш.....	20
Б. Х. Хужаёров, Т. О. Джианов. Биржинсли бўлмаган ғовак мухитда аномал модда кўчиши.....	25
Э. Ч. Холияров, О. Ш. Хайдаров. Босим ўтказувчанлик ва босим градиенти релаксация ваки коэффициентларини тесқари масала ечими асосида идентификациялаш.....	30
Х. Ахмедходжаев, А. Каримов, А. Турсунов. Уруғлик пахта чигитини икки секцияли горизонтал аэродинамик саралагич камерасида ҳаракатланиш қонуниятларини ўрганиш.....	35
Э. Э. Гаибназаров, А. А. Обидов, М. Камолиддинов. Чигитли пахта таркибидаги майда ва йирик заррачаларни механик таъсирда ажратишнинг назарий тадқиқи.....	38
М. И. Исаков, А. Т. Йўлдашев, Н. С. Дуяшин. Прокат станлари жўваларини таъмирлашда мустаҳкамликни оширувчи легирловчи элементларни қўллашнинг таҳлили.....	43
Б. М. Мардонов, А. Е. Лугачев, Р. А. Гуляев. Толали массани нам ҳаво таъсирида вертикал шахтада намлаш жараёнини тадқиқ қилиш.....	45
Р. М. Муродов, Р. Сулаймонов, Е. Тадаева. Тозалаш зонасида ҳаракатланаётган толали массадан ажралган ифлосликлар миқдорини аниқлаш.....	50
Д. М. Мухаммадиев, Х. А. Ахмедов. Пахтанинг қия қозикчали барабан юзасидаги нисбий ҳаракатини тадқиқ қилиш.....	53
А. А. Обидов, Х. Т. Ахмедходжаев, М. Абдувахидов. Толали чикиндилар таркибидан узун толаларни ажратиш барабани тола сигимини тадқиқ қилиш.....	59
Б. С. Серикбаев, А. Т. Джуманазарова. Коллектор–завур тизимлари сувларидан фойдаланиш технологиялари.....	63
Ҳ. С. Сағдиев, З. Р. Тешабоев, В. А. Галиасқаров. Муҳандислик сейсмометрик кузатиш станцияси натижаларига асослашиб 2008 йил 22 августдаги ер қимирлашининг иншоотлар ва уларни заминларига таъсирини таҳлили.....	66
Г. Х. Хожметов, А. С. Ювмитов. Эластик-қовушқоқлик назарияси асосида пойдевор билан грунт орасидаги ўзаро таъсирни ҳисобга олган ҳолда сўндиргич демпфер конструкцияси билан уланган ёнма-ён биноларнинг тебраниши.....	70
С. Х. Бабаджанов, М. А. Алламов. Чўзувчи асбобдаги кайишли жуфтликнинг ишқаланишдаги ишлаш хусусиятлари.....	73

## Илмий ахборотлар

Р. К. Абдуллаев, А. И. Каримов, Б. Т. Алиев. Пневмомеханик жин ишчи органида чигитдан толаларни ажратиш жараёнини статик ҳисоботи.....	77
Ш. М. Азизов. Янги типдаги колосниклар икки цилидрли джинга моделлаштириш ва тадқиқ этиш.....	80
С. М. Кадиров, О. Г. Эргашев. Дизель аппаратураларини ёқилғи деталларини мустаҳкамлигини баҳолаш.....	82
О. К. Касимов, У. Х. Ташпулатов, Х. Ф. Акмалов. Тормозланишда автомобил ғилдираги билан йўл орасида таъсир этувчи кучлар.....	86
Я. Рахимов, Х. Исаханов, З. Абдукаххоров. Темирнинг образив ейилишга барқарорлиги ва мустаҳкамлигини меъёрлаштиришда бошланғич ҳароратни таъсири.....	90
Б. Х. Хўжаёров, Ж. М. Махмудов, У. Ж. Сайдуллаев. Релаксацион кейк-қатлам ҳосил бўладиган суспензияларни филтрлаш тенгламаларини сонли ечиш.....	92

### «Конструкциялар мустаҳкамлиги, бино ва иншоотлар сейсмодинамикаси» халқаро илмий-техник конференцияси материаллари, 2016 йил 12-14 сентябрь

Р. В. Гольдштейн, А. В. Ильяшенко, С. В. Кузнецов. Релея сейсмик тўлкини ва уларнинг иншоотларга таъсири, оқибатлари.....	98
С. Х. Достанова, Е. А. Исаханов, К. Е. Токпанова. Юпка деворли қия қобиикларнинг кучланганлик–деформацияланганлик ҳолатига геометрик чизиксизликнинг таъсири.....	101
Дун Сяомэн, М. Н. Кирсанов. Телескоп консолида юкнинг тебранишини аналитик ҳисоблаш.....	104
И. Н. Дюсембаев, С. Х. Достанова. Материалнинг чизиксизлигини ҳисобга олган ҳолда конструкцияларнинг юк кўтарувчи элементларини ҳисоблаш.....	108
В. Т. Ерофеев, А. С. Тюряхин, И. В. Смирнов, И. Н. Максимова. Каркасли композитларни динамик юкланишлар таъсиридаги ҳолатини ўрганиш.....	110
С. Ерманов, В. Лапин. Бино ва иншоотларни ҳисоблаш учун маҳаллий зилзилаларнинг сунъий акселерограммаларини ишлаб чиқиш усули.....	114



А. М. Зулпуев. Кўп қаватли бинонинг контури бўйлаб таянган йиғма темир–бетон том ёпма плиталарининг юк кўтариш қобилиятини ҳисоблаш тадқиқотлари.....	117
Г. Т. Касымова. Конструкцияларнинг юк кўтарувчи элементларини ҳисоблашда деформацияланиш жараёнида бириктириш тугунларини мустаҳкамлигини ўзгаришини ҳисобга олиш.....	120
В. И. Кондращенко, А. Г. Кесарийский, Е. В. Кондращенко, А. В. Доброславский. Қурилиш материаллари деформацияланишининг лазерли интерферометрия усуллари билан ўрганиш.....	122
Н. К. Кулманова, Т. К. Айтуаров, Д. А. Касымбеков, Д. К. Калитов. Газ қатламларида нефт қолдиқларини қазиб чиқариш жараёнида гидрогеологик жараёнларни математик моделлаштириш.....	126
А. А. Кусаинов, С. Х. Достанова. Дискрет қўшимчали плиталарнинг кўндаланг тебранишдаги хусусий частоталари.....	129
М. Кусбекова, А. Тасмаганбетова. Сейсмик хавфли ҳудудларда чўкувчан грунтларда объектларни лойиҳалаш.....	132
Ж. Ы. Маматов, Ж. Ш. Кожобаев, Б. С. Матозимов, Б. С. Ордобаев. Қирғизстон давлат қурилиш, транспорт ва архитектура университетидаги сейсмоплатформада ўтказилган тажрибалар ва зилзилаларда кам қаватли биноларнинг зарарланиш жараёни.....	137
Ю. Л. Рутман, А. Я. Ниджад. Эластикпластик макромодель ва унинг рама конструкцияларини сейсмик таъсирларга ҳисоблашда қўлланилиши.....	143
Л. Р. Ставницер, Г. А. Никитаева. Резонанс усули билан грунтларни тўлқинларни пасайтириш (демпферлик) характеристикаларини тажрибавий аниқлаш.....	146
Б. Б. Телтаев, К. К. Айтбаев. Ер ости иншоотли йўл конструкциясининг кучланганлик ҳолатини солиштирма тахлили.....	148

## СОДЕРЖАНИЕ

Н. А. Коршунова, М. И. Рузматов. Аналитические решения для участков промежуточной тяги в случае некруговой ограниченной задачи трёх тел .....	3
У. Н. Балтабаев, И. Н. Хусанов. Механическая модель неньютоновской вязкоинертно деформируемой смеси и решение задачи движения ее в кольцевом пространстве .....	8
А. И. Каримов, А. У. Саримсаков, А. А. Рахманов. Моделирование движения смеси с весомыми частицами в стационарном потоке жидкости .....	14
Р. Х. Мухутдинова, Г. Т. Аюбов. Комплексное исследование статического и динамического напряженно-деформированного состояния и устойчивости грунтовой плотины как двухфазной гидроупругопластической системы с учетом переходного процесса при сейсмических воздействиях задаваемых записями акселерограмм .....	17
Ф. Х. Нишонов. Моделирование гидравлического удара в сложных трубопроводах .....	20
Б. Х. Хужаёров, Т. О. Джиянов. Аномальный перенос вещества в неоднородной пористой среде .....	25
Э. Ч. Холияров, О. Ш. Хайдаров. Идентификация коэффициентов пьезопроводности и времени релаксации градиента давления на основе решения обратных задач .....	30
Х. Т. Ахмедходжаев, А. Каримов, А. Гурсунов. Исследование движения хлопковых семян в двух в двухкамерном сортировщике под действием горизонтального воздушного потока .....	35
Э. Э. Гаибназаров, А. А. Обидов, М. Камолиддинов. Теоретическое исследование процесса очистки хлопка-сырца от крупных и мелких сорных примесей под механическим воздействием .....	38
М. И. Исаков, А. Т. Йулдашев, Н. С. Дуняшин. Анализ восстановления прокатных валков с применением упрочняющих легирующих элементов .....	43
Б. М. Мардонов, А. Е. Лугачев, Р. А. Гуляев. Исследование процесса увлажнения волокнистой массы в вертикальной камере встречным потоком влажного воздуха .....	45
Р. М. Муродов, Р. Сулаймонов, Е. Тадаева. Определение количества выделяемых сорных примесей в волокнистой массе, движущейся в зоне очистки .....	50
Д. М. Мухаммадиев, Х. А. Ахмедов. Исследования движения хлопка на поверхности барабана с наклонными колками .....	53
А. Обидов, Х. Т. Ахмедходжаев, М. Абдувахидов. Исследование зависимости волокноемкости гарнитуры съемного барабана устройства отделения длинных волокон из состава волокнистых отходов .....	59
Б. С. Серикбаев, А. Т. Джуманазарова. Технология использования стоков коллекторно-дренажной сети ..	63
Х. С. Сагдиев, З. Р. Тешабоев, В. А. Галиаскаров. Анализ воздействия Ташкентского землетрясения от 22 августа 2008 года на сооружения и их грунтовые основания по результатам инженерно-сейсмометрических станций наблюдений .....	66
Г. Х. Хожметов, А. С. Ювмитов. Сейсмические колебания смежных зданий, соединенных демпфером с учетом свойств взаимодействия фундамента с грунтом по наследственной теории вязкоупругости .....	70
С. Х. Бабаджанов, М. А. Алламов. Свойства фрикционных пар ремешков, работающих на вытяжных приборах .....	73

### Научные сообщения

Р. К. Абдуллаев, А. И. Каримов, Б. Т. Алиев. Статические расчеты в процессе отделения хлопкового волокна от семян пневмомеханическим рабочим органом джина .....	77
Ш. М. Азизов. Моделирование и внедрение нового типа колосников в двухцилиндровом джине .....	80
С. М. Кадиров, О. Г. Эргашев. Оценка долговечности деталей топливоподающей аппаратуры дизелей .....	82
О. К. Касимов, У. Х. Ташпулатов, Х. Ф. Акмалов. Силы взаимодействия колес автомобиля с дорогой при торможении .....	86
Я. Рахимов, Х. Исаханов, З. Абдукаххоров. Влияние температуры предварительной нормализации на прочность и абразивную износостойкость стали .....	90
Б. Х. Хужаёров, Ж. М. Махмудов, У. Ж. Сайдуллаев. Численное решение задачи релаксационного фильтрования суспензий с образованием кейк – слоя .....	92

### Материалы Международной научно-технической конференции «Прочность конструкций, сейсродинамика зданий и сооружений» 12-14 сентября 2016 г.

Р. В. Гольдштейн, А. В. Ильяшенко, С. В. Кузнецов. Сейсмические волны Рэлея и последствия их воздействия на сооружения .....	98
С. Х. Достанова, Е. А. Исаханов, К. Е. Токпанова. Влияние геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние тонкостенных пологих оболочек .....	101
И. Н. Дюсембаев, С. Х. Достанова. Расчет несущих элементов конструкций с учётом нелинейных свойств материала .....	104
Дун Сяомэн, М. Н. Кирсанов. Аналитический расчет колебаний груза на телескопической консоли .....	108
В. Т. Ерофеев, А. С. Тюряхин, И. В. Смирнов, И. Н. Максимова. Изучение поведения каркасных композитов в условиях воздействия динамических нагрузок .....	110
С. Ержанов, В. Лапин. Методы генерирования искусственных акселерограмм местных землетрясений для расчета зданий и сооружений .....	114
А. М. Зулпуев. Исследование несущей способности сборных железобетонных плит перекрытий, опертых по контуру многоэтажных зданий .....	117

Г. Т. Касымова. Учет изменения жесткости узловых соединений в процессе деформирования при расчете несущих элементов каркасных конструкций.....	120
В. И. Кондращенко, А. Г. Кесарийский, Е. В. Кондращенко, А. В. Доброславский. Изучение деформирования строительных материалов методами лазерной интерферометрии.....	122
Н. К. Кулманова, Т. К. Айтуаров, Д. А. Касымбеков, Д. К. Калитов. Математическое моделирование гидрогеологических процессов при закачке нефтяных отходов в выработанные газоносные пласты.....	126
А. А. Кусаинов, С. Х. Достанова. Собственные частоты поперечных колебаний для плит с дискретными включениями.....	129
М. Кусбекова, А. Тасмаганбетова. Проектирование объектов на просадочных грунтах в сейсмически опасных районах.....	132
Ж. Ы. Маматов, Ж. Ш. Кожобаев, Б. С. Матозимов, Б. С. Ордобаев. Процессы разрушения малоэтажных зданий при землетрясении и проведении эксперимента на сеймоплатформе Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.....	137
Ю. Л. Рутман, А. Я. Ниджад. Упругопластическая макромодель и её применение к расчету рамных конструкций на сейсмические воздействия.....	143
Л. Р. Ставницер, Г. А. Никитаева. Экспериментальное определение демпфирующих характеристик грунтов резонансным методом.....	146
Б. Б. Телтаев, К. К. Айтбаев. Сравнительный анализ напряженного состояния дорожной конструкции с подземным сооружением.....	148

Сдано в набор 18.07.2016. Подписано в печать \_\_\_\_\_.2016.  
Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Гарнитура Times New Roman. Ризография.  
Усл.-печ. л. 18.13. Уч.-изд. л. 12.18. Тираж 125. Заказ № .  
Цена договорная.

Отпечатано в Минитипографии УД АН РУз:  
100047, г. Ташкент, ул. акад. Я. Гулямова, 70.