

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

МЕХАНИКА
МУАММОЛАРИ

O‘ZBEKISTON
JURNALI

1
2015

УЗБЕКСКИЙ
ЖУРНАЛ

ПРОБЛЕМЫ
МЕХАНИКИ

Журнал под таким названием издается с января 1992 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

Члены редколлегии: докт. техн. наук, проф. А. АБДУСАТТАРОВ,
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, ул. Ф. Ходжаева, 31.
Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз

Телефон: + 99871 262-78-34
Факс: +99871 262-71-52
E-mail: tur.rashidov@list.ru

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.

Сдано в набор 04.05.2015. Подписано в печать 09.06.2015.
Формат 60×84 ¹/₈. Гарнитура Times New Roman. Ризография.
Усл.-печ. л. 11.27. Уч.-изд. л. 7.35. Тираж 110. **Заказ №** .
Цена договорная.

Отпечатано в Минитипографии УД АН РУз:
100047, г. Ташкент, ул. акад. Я. Гуламова, 70.

© Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз, 2015 г.

НОВЫЕ ЧАСТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ АКТИВНЫХ УЧАСТКОВ В СЛУЧАЕ КРУГОВОЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧИ ТРЕХ ТЕЛ

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

Данная статья является продолжением исследований, начатых в [3,4] для случая поля двух центров притяжения, условно названных Земля и Луна, массы которых соизмеримы. Предполагается, что Луна равномерно движется относительно Земли по круговой орбите радиуса a с угловой скоростью n . Точка с массой $M(t)$ не оказывает воздействия на движение центров притяжения: $M \ll M_2 < M_1$. Гамильтониан задачи в цилиндрической системе координат r, φ, z будет иметь следующий вид [4]:

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

Здесь μ_1, μ_2 – гравитационные параметры Земли и Луны; $\tilde{r}(r; 0; z)$; $\vec{r}_1(a \cos \alpha; a \sin \alpha; 0)$ – геоцентрические радиусы-векторы точки и Луны; v_1, v_2, v_3 – составляющие скорости $\vec{v}$ точки; $\lambda_i (i = \overline{1,7})$ – множители, сопряженные координатам $v_1, v_2, v_3, r, \varphi, z, M$; $\vec{\lambda} = \vec{\lambda}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ – базис-вектор, $|\vec{\lambda}| = \lambda$, $\vec{\rho} = \tilde{\vec{r}} - \vec{r}_1$, $\tilde{r}^2 = r^2 + z^2$, $\rho^2 = r^2 + z^2 + a^2 - 2ar \cos \alpha$, $\alpha = nt - \varphi$.

Для участков промежуточной тяги (ПТ) задачи о минимизации характеристической скорости методом Докшевича были получены следующие равенства [4]:

$$(2\lambda_1 v_2 - \lambda_2 v_1 + \lambda_5)(\lambda_1 r - \lambda_1 a \cos \alpha - \lambda_2 a \sin \alpha)(\lambda_2 \cos \alpha - \lambda_1 \sin \alpha)(\lambda_1 a \sin \alpha - \lambda_2 a \cos \alpha + \lambda_2 r) = 0. \\ z = 0, \quad (1)$$

откуда следуют инвариантные соотношения, приводящие к различным частным решениям задачи, в том числе и отличным от найденных в [3, 4].

При условии (1) КА движется в плоскости орбиты Луны. Следовательно, $v_3=0, \lambda_3=0$.

Вариант 1. Пусть в (1) обращаются в нуль одновременно следующие выражения:

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

Тогда из уравнения $\dot{\lambda}_2 = \frac{\partial H}{\partial v_2}$ следует, что $\dot{\lambda}_2 = 0$, а из соотношений

$$\lambda_1^2 + \lambda_2^2 = 1, \quad \lambda_1 \dot{\lambda}_1 + \lambda_2 \dot{\lambda}_2 = 0 \quad (3)$$

заключаем, что $\lambda_1 \dot{\lambda}_1 = 0$. Пусть $\lambda_2 = 0$. Тогда $\lambda_1 = \pm 1$. Из (2) имеем

$$r = a \cos \alpha, \quad v_1 = \dot{r} = -a(n - \dot{\varphi}) \sin \alpha, \quad v_2 = r \dot{\varphi}. \quad (4)$$

Тогда из уравнений

$$\dot{\lambda}_1 = \frac{\partial H}{\partial v_1}, \quad \dot{\lambda}_4 = -\frac{\partial H}{\partial r}$$

при условии (2) получим

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

Дифференциальные уравнения

$$\dot{\lambda}_5 = -\frac{\partial H}{\partial \varphi} \text{ и } \dot{v}_2 = \frac{\partial H}{\partial \lambda_2}$$

принимают следующий вид:

$$2\dot{v}_2 = \mu_2 a \sin \alpha \left(\frac{1}{\rho^3} - \frac{1}{a^3} \right), \dot{v}_2 = \mu_2 a \left(\frac{1}{\rho^3} - \frac{1}{a^3} \right) \sin \alpha - \frac{v_1 v_2}{r}, \quad (5)$$

откуда $r\dot{v}_2 = v_1 v_2$. Интегрируя, будем иметь $r_0 v_2 = v_{20} r$. Трансверсальная составляющая скорости v_2 изменяется пропорционально расстоянию r до неподвижного центра (если $v_{20} > 0$, то $v_2 > 0$).

Обозначим $\dot{\varphi} = \frac{v_{20}}{r_0} = \omega$, тогда $\varphi = \omega t + \varphi_0$, $v_2 = r\omega$. Угол φ растёт (при $v_{20} > 0$) или убывает (при

$v_{20} < 0$) пропорционально времени, $\omega^2 = \frac{\mu_2}{\rho^3} - \frac{2\mu_1}{r^3} > 0$. Следовательно, $\frac{\mu_2}{2\mu_1} > \frac{\rho^3}{r^3}$. Поскольку

$2\mu_1 > \mu_2$, то $\rho < r$. Учитывая первое (4), получим, что угол $\alpha < \frac{\pi}{4}$ во всё время движения по участку ПТ. Это условие и (4) приводят к ограничению на угловую скорость ω КА и на длительность участка ПТ, а значит – на начальную скорость и начальное положение точки.

Пусть $\alpha = nt - \varphi > 0$ и $v_{20} > 0$. Обозначая $k = n - \omega$, получим $\alpha = nt - \omega t - \varphi_0 = kt - \varphi_0$.

Учитывая, что $0 < kt - \varphi_0 < \pi/4$, будем иметь

$$\varphi_0 < kt < \frac{\pi}{4} + \varphi_0. \quad (6)$$

Следовательно, $k > 0$, $n > \omega$. Угловая скорость КА меньше угловой скорости Луны. КА движется в сторону движения Луны, отставая от неё на угол α , который с течением времени растёт.

Из (4) определим $r(t)$: $\dot{r} = -ak \sin \alpha < 0$. Точка приближается к неподвижному центру. Условие (6) будет выполняться, если k мало, т.е. угловая скорость КА близка к угловой скорости Луны, или если длительность участка ПТ ограничена $t < \pi/4k$. Из дифференциального уравнения $\dot{v}_1 = \partial H / \partial \lambda_1$, которое с учетом (4) принимает вид

$$\dot{v}_1 = \frac{cm}{M} \lambda_1 - \frac{\mu_1}{r^2} - \frac{\mu_2}{a^2} \cos \alpha + \frac{v_2^2}{r}, \quad (7)$$

найдем закон изменения массы. Из (4) получим $\dot{v}_1 = -a \cos \alpha (n - \dot{\varphi}) \dot{\alpha} + a \ddot{\varphi} \sin \alpha$, где $\ddot{\varphi} = 0$, $\dot{\alpha} = k = n - \omega$, т.е. $\dot{v}_1 = -r(n - \omega)^2$. Тогда из (7), принимая во внимание первое (4), будем иметь $\frac{cm}{M} \lambda_1 = \frac{\mu_1}{r^2} + \frac{\mu_2 r}{a^3} + 2n\omega r - r(2\omega^2 + n^2)$, или, учитывая, что $n^2 = \frac{\mu_1 + \mu_2}{a^3}$,

$$\frac{cm}{rM} \lambda_1 = \mu_1 \frac{a^3 - r^3}{a^3 r^3} + 2\omega k. \quad (8)$$

Поскольку $\frac{cm}{rM} > 0$, то знак у радиальной составляющей базис-вектора λ_1 зависит от правой части. Согласно (4), $a^3 - r^3 > 0$. Кроме того, $k > 0$ ($\omega < n$). Следовательно, $\lambda_1 > 0$, $\lambda_1 = 1$. Таким образом, радиальная составляющая базис-вектора положительная.

Из (8) с учетом (4) имеем

$$-\frac{cdM}{M} = \frac{1}{k} \left(\frac{\mu_1}{a^2 \cos^2(kt - \varphi_0)} - \left(\frac{\mu_1}{a^2} - 2a\omega k \right) \cos(kt - \varphi_0) \right) d(kt - \varphi_0).$$

Интегрируя, получим $M = M_0 e^{\frac{-(N(t)+A)}{c}}$, где, учитывая, что $\operatorname{tg} \alpha > \sin \alpha$ для острых углов,

$$N(t) = \frac{\mu_1}{ka^2}(\operatorname{tg} \alpha - \sin \alpha) + 2a\omega k \sin \alpha > 0, \quad A = \frac{\mu_1}{ka^2}(\operatorname{tg} \varphi_0 - \sin \varphi_0) + 2a\omega k \sin \varphi_0 > 0.$$

Так как α растёт, то $N(t)$ растёт, а масса $M(t)$ убывает по показательному закону.

Таким образом, получили участок ПТ, который принадлежит спиралевидной кривой, закручивающейся против часовой стрелки (в сторону движения Луны). Сила тяги радиальная, направлена от неподвижного центра. Угловая скорость точки меньше угловой скорости Луны. КА (точка) отстаёт от Луны на угол, который с течением времени растёт.

Вариант 2. Пусть в (1) обращаются в нуль одновременно следующие выражения:

$$2\lambda_1 v_2 - \lambda_2 v_1 + \lambda_5 = 0, \quad \lambda_1 a \sin \alpha - \lambda_2 a \cos \alpha + \lambda_2 r = 0. \quad (9)$$

Как и в первом варианте, из (9) и (3) получим $\dot{\lambda}_2 = 0$, $\lambda_1 \dot{\lambda}_1 = 0$. Рассмотрим случай $\lambda_2 = 0$, $\lambda_1 = \pm 1$. Из (9) следует, что $\lambda_1 a \sin \alpha = 0$. При $a \neq 0$ имеем $\sin \alpha = 0$, т.е. или $\alpha = 0$, или $\alpha = \pi$. Уравнение (5) сводится к следующему $r\dot{v}_2 = -v_1 v_2$. Интегрируя, получим

$$rv_2 = v_{20} r_0. \quad (10)$$

Трансверсальная составляющая скорости v_2 изменяется обратно пропорционально расстоянию r до неподвижного центра. Если $v_{20} > 0$ ($v_{20} < 0$), то $v_2 > 0$ ($v_2 < 0$). С другой стороны, $v_2 = r\dot{\varphi}$. Сравнивая с (10), получим $r^2 \dot{\varphi} = v_{20} r_0$. Угловая скорость точки обратно пропорциональна r^2 .

1). При $\alpha = 0$ имеем $nt - \varphi = 0$, $\dot{\varphi} = n$, $\rho = a - r$. КА находится на радиусе орбиты Луны, проходящем через центр Луны.

2). При $\alpha = \pi$ имеем $nt - \varphi = \pi$, $\dot{\varphi} = n$. КА отстаёт (или опережает) от Луны на угол π , т.е. находится на продолжении радиуса орбиты Луны, проходящего через центр Луны. $\rho = a + r$. Угловые скорости КА и Луны в обоих случаях совпадают.

В обоих случаях $nr^2 = v_{20} r_0$. Таким образом, точка (КА) равномерно ($v_2 = r_0 n$) движется по окружности радиуса r_0 . Величина скорости v_2 зависит от начального расстояния r_0 . Радиальная составляющая скорости $v_1 = \dot{r} = 0$.

Закон изменения массы найдём из уравнения $\dot{v}_1 = \frac{\partial H}{\partial \lambda_1}$, которое в случае $\alpha = 0$, $\rho = a - r$ принимает следующий вид:

$$\frac{cm}{M} \lambda_1 = \frac{\mu_1}{r^2} - \frac{\mu_2}{\rho^2} + \frac{\mu_2}{a^2} - n^2 r. \quad (11)$$

Обозначим правую часть в (11) через

$$A = \frac{\mu_2}{a^3} \left(b \frac{a^3 - r^3}{r^2} + \frac{\rho^3 - a^3}{\rho^2} \right), \text{ где } \mu_1 = b\mu_2, b > 1, n^2 = \frac{\mu_1 + \mu_2}{a^3}.$$

Знаки у λ_1 и A совпадают и зависят от отношения гравитационных параметров μ_1, μ_2 и от начального положения точки r_0 .

Из (11) имеем $M = M_0 e^{\frac{-A}{c\lambda_1}}$. Так как $\frac{A}{\lambda_1} > 0$, то масса убывает по показательному закону.

Поскольку $a > r$, то и для $A > 0$, и для $A < 0$ можно получить $\frac{r^3(a^2 + a\rho + \rho^2)}{\rho^3(a^2 + ar + r^2)} > 1$, откуда

видно, что для выполнения этого неравенства достаточно, чтобы $\rho < r, r > a/2$. Для случая $\alpha = \pi$, $\rho = a + r$, аналогично получим $2a - \rho < r, r > a/2$.

Таким образом, найденное во втором варианте частное решение соответствует равномерному движению точки (КА) с промежуточной тягой по дуге окружности радиуса $a > r_0 > a/2$, лежащей в плоскости орбиты Луны. Угловые скорости точки и Луны совпадают. Точка (КА) находится на линии, проходящей через центры притяжений. Угол рассогласования между Луной и КА равен 0 или π . Масса убывает по показательному закону. Сила тяги радиальная, её направление зависит от отношения гравитационных параметров центров притяжения и от начального положения точки (КА).

Вариант 3. Пусть в (1) обращается в нуль следующее соотношение: $\lambda_2 \cos \alpha - \lambda_1 \sin \alpha = 0$. Этот случай рассмотрен в [4] при условии $v_1 = 0$. При $v_1 \neq 0$ с учетом (3) можно получить, что $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = \pm 1$, $\sin \alpha = \pm 1$, откуда имеем $a = \frac{\pi}{2}$ или $a = \frac{3\pi}{2}$. Так как $\varphi = nt - \alpha$, то $\dot{\varphi} = n$, $v_2 = rn$, $\dot{v}_2 = v_1 n$. Пусть для определенности $\lambda_2 = 1$. Тогда уравнения $\dot{v}_1 = \frac{\partial H}{\partial \lambda_1}$ и $\dot{v}_2 = \frac{\partial H}{\partial \lambda_2}$ принимают следующий вид:

$$\dot{v}_1 = -\frac{\mu_1}{r^2} - \frac{\mu_2 r}{\rho^3} + rn^2, \quad v_1 n = \frac{cm}{M} \pm \mu_2 \left(\frac{a}{\rho^3} - \frac{1}{a^2} \right) - v_1 n. \quad (12)$$

1) При $a = \frac{\pi}{2}$ (КА отстаёт от Луны на 90°) (рис. 1) из (12) имеем

$$v_1 = \frac{1}{2n} \left(\frac{cm}{M} - \mu_2 \frac{\rho^3 - a^3}{\rho^3 a^2} \right). \quad (13)$$

$$\text{Если } \frac{cm}{M} > \mu_2 \frac{\rho^3 - a^3}{\rho^3 a^2}, \text{ то } v_1 > 0, \text{ если } \frac{cm}{M} < \mu_2 \frac{\rho^3 - a^3}{\rho^3 a^2}, \text{ то } v_1 < 0. \quad (14)$$

Второе уравнение (12) сводится к следующему:

$$\ddot{r} = -\frac{\mu_1}{r^2} - \frac{\mu_2 r}{(r^2 + a^2)^{3/2}} + n^2 r. \quad (15)$$

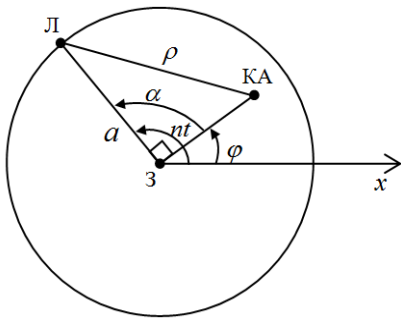


Рис. 1. КА отстаёт от Луны на 90° , $\rho > a$

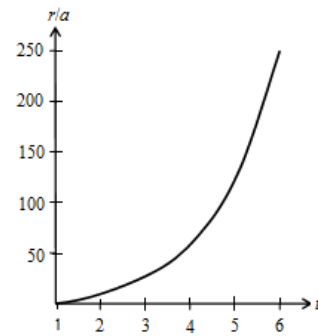


Рис. 2. Зависимость отношения r/a от времени

Пусть $\mu_1 = b\mu_2$, $b > 1$, $n^2 = \mu_2 \frac{b+1}{a^3}$. Тогда из (15) имеем:

$$\dot{r} dr = \mu_2 \left(\frac{b+1}{a^3} r - \frac{b}{r^2} - \frac{r}{(r^2 + a^2)^{3/2}} \right) dr,$$

интегрируя которое, получим

$$v_1 = \pm \sqrt{f(r)}, \quad \text{где } f(r) = \mu_2 \left(\frac{b+1}{a^3} r^2 + \frac{2b}{r} + \frac{2}{(r^2 + a^2)^{\frac{1}{2}}} \right) + \text{const}.$$

Отсюда можно найти $r(t)$. При $v_1 > 0$ ($v_1 < 0$) $r(t)$ растёт (убывает) с течением времени (рис.2), имеем спираль, раскручивающуюся (закручивается) против часовой стрелки.

Закон изменения массы можно найти из (13): $-\frac{c}{M} \frac{dM}{dt} = 2nv_1(r) + \mu_2 \frac{\rho^3 - a^3}{\rho^3 a^2}$. Для убыва-

ния массы необходимо, чтобы правая часть была положительной, т.е. $v_1(r) > -\mu_2 \frac{\rho^3 - a^3}{2n\rho^3 a^2}$. При $v_1 > 0$ это условие всегда выполняется и соответствует первому соотношению (15). При $v_1 < 0$ оно является ограничением на $v_1(r)$, а значит и на $r(t)$.

2) Пусть $a = \frac{3\pi}{2}$, $\varphi = nt - \frac{3\pi}{2}$ или $-\varphi = \frac{3\pi}{2} - nt$. КА опережает Луну на 90° . Из (13)

имеем $v_1 = \frac{1}{2n} \left(\frac{cm}{M} + \mu_2 \frac{\rho^3 - a^3}{\rho^3 a^2} \right)$. Так как $\rho > a$, то $v_1 > 0$ всегда. Тогда $\frac{dr}{dt} = v_1 = \sqrt{f(r)} > 0$.

$r(t)$ растёт с течением времени, имеем спираль, раскручивающуюся против часовой стрелки. Закон изменения массы можно найти из (13). Для убывания массы необходимо, чтобы

$v_1(r) > \mu_2 \frac{\rho^3 - a^3}{2n\rho^3 a^2}$. Это условие является ограничением на $v_1(r)$, а значит и на $r(t)$.

Таким образом, найденные в третьем варианте участки ПТ принадлежат спиральям, которые раскручиваются (закручиваются) против часовой стрелки, т.е. в сторону движения Луны. Угол рассогласования между КА и Луной $\frac{\pi}{2}$ или $\frac{3\pi}{2}$, т.е. КА отстаёт или опережает Луну на 90° .

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. Уч. пос. Ташкент, 1990.
- [3] Коршунова Н.А. Оптимизация траекторий точки в случае круговой ограниченной задачи трёх тел // Узбекский журнал «Проблемы механики». 2013. № 3 – 4. С. 14 – 19.
- [4] Коршунова Н.А., Шерниёзов Х.О. Стабилизация движения точки на участках промежуточной тяги в случае ограниченной задачи трёх тел // Узбекский журнал «Проблемы механики». 2014. № 2. С. 5 – 8.

Национальный университет Узбекистана
им. Мирзо Улугбека

Дата поступления
04.03.2015

Н.А. Коришунова, Ш.Ш.Кодинова, М.И.Рузматов. Чегараланган уч жисм масаласининг айланма ҳаракати ҳолида актив қисмлар учун янги хусусий ечимлар

Чегараланган уч жисм масаласининг айланма ҳаракати ҳолида Докшевич усули ёрдамида оралиқ тортиш ҳоли учун вариацион масаланинг янги хусусий аналитик ечимлари топилган.

N.A. Korshunova, Sh.Sh. Kodirova, M.I. Ruzmatov. New particular solutions for active thrust arcs in the case of the circular restricted three-body problem

Based on Dokshevich's method the new particular analytical solutions of the variation problem about point movement in the case of the circular restricted three-body problem for intermediate thrust arcs were found.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ГИРОГОРИЗОНТКОМПАСА

При исследовании многих проблем в теории стабилизации управляемых механических систем требуется знание текущего состояния системы для формирования управлений, которые реализуют условные связи и стабилизируют невозмущенное движение. Обычно такая проблема возникает в случаях, когда управление формируется по принципу обратной связи, т.е. силы и моменты формируются по текущему состоянию системы. Однако часто при решении конкретной задачи в некоторых случаях нельзя предполагать, что все компоненты фазового вектора доступны непосредственному измерению. Трудность прямого измерения той или иной координаты может возникнуть вследствие отсутствия измерительного канала, связывающего наблюдателя с соответствующими элементами движущегося объекта. Например, такого рода проблемы возникают при отсутствии полных сведений о положении системы ориентировки в инерциальных системах навигаций и в некоторых задачах с условными связями. Рассмотрим движение управляемого гироскопа [1], где решается вопрос стабилизации по отношению к частному решению, которое соответствует назначению прибора.

Такая постановка задачи рассмотрена в работе Я.Н. Ройтенберга, где гироскоп представляет собой двухроторную систему с гиросферой, смонтированной на стабилизированной в горизонте платформе.

В качестве основной системы координат выберем географическую систему $O\xi\eta\zeta$, начало O которой совпадает с геометрическим центром гиросферы. Ось $O\xi$ направлена по радиусу земного шара, ось $O\zeta$ – по касательной к параллели на восток, а ось $O\eta$ – по касательной к меридиану на север. При этом точка опоры гироскопа связана с объектом, движущимся со скоростью $\vec{V}$ относительно Земли.

Положение системы координат $Ox_1y_1z_1$, связанной с гиросферой, относительно основной системы координат $O\xi\eta\zeta$ определим углами Эйлера α, β, γ , из которых α – угол поворота вокруг оси $O\zeta$, β – угол поворота вокруг оси, лежащей в горизонтальной плоскости. Положение гироскопов относительно гиросферы определяются углами собственного вращения φ_1, φ_2 и углом δ отклонения собственной оси вращения по отношению к начальному положению относительно гиросферы. Таким образом, положение системы определяется соответствующими углами $\alpha, \beta, \gamma, \varphi_1, \varphi_2, \delta$. В данной задаче предполагается, что не все координаты гироскопа доступны измерению. Так как направление на север не известно, то такие координаты, как угол α и курс корабля ψ в отдельности измерить нельзя. Можно, находясь в подвижной системе координат, связанной с кораблем, измерить угол между направлением горизонтальной проекции оси гироскопа и вектором скорости корабля, т.е. угол $\alpha+\psi$, а также углы подъема экваториальной плоскости гиросферы β и γ .

Если центр масс конструкции расположен в геометрическом центре сферы, то уравнения движения системы с учетом прецессионной теории при отсутствии внешних моментов имеют следующий вид [1]:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}[2B \cos(\varepsilon - \delta) \sin \beta] + 2B(u_1 \cos \alpha \cos \beta + u_2 \sin \alpha \cos \beta) \cos(\varepsilon - \delta) &= 0, \\ 2B(\dot{\alpha} \cos \beta + u_1 \sin \alpha \sin \beta - u_2 \cos \alpha \sin \beta + u_3 \cos \beta) \cos(\varepsilon - \delta) &= 0, \\ \frac{d}{dt}[2B \cos(\varepsilon - \delta)] &= 0, \\ 2B(\dot{\alpha} \sin \beta + \dot{\gamma} - u_1 \sin \alpha \cos \beta + u_2 \cos \alpha \cos \beta + u_3 \sin \beta) \sin(\varepsilon - \delta) &= \frac{c_1 h \rho^2}{L} \sin \delta \cos \delta, \end{aligned} \quad (1)$$

где $u_1 = -\frac{V_N}{R}$, $u_2 = U \cos \varphi + \frac{V_E}{R}$, $u_3 = U \sin \varphi + \frac{V_E}{R} \operatorname{tg} \varphi$ – компоненты угловой скорости основной системы координат $O\xi\eta\zeta$; ε – угол между осью собственного вращения и осью Oz ; U – суточная угловая скорость Земли; V_E , V_N – восточная и северная составляющие вектора скорости точки опоры; B – собственный момент гироскопа; c_1 – жесткость пружины; L – длина свободной пружины; h – предварительное натяжение пружины. Полагая, что моменты сил сопротивления относительно осей вращения роторов уравниваются активными моментами, имеем $C_1 r_1 = C_1 r_2 = B = \text{const}$.

Из уравнений движения (1) видно, что система не допускает решение

$$\alpha = 0, \beta = 0, \gamma = 0, \delta = 0, \quad (2)$$

т.е. без внешних корректирующих моментов прибор нельзя использовать в качестве компаса. Для использования прибора в качестве компаса прилагают моменты по соответствующим осям. Полагая широту φ местонахождения известной, Я.Н. Ройтенберг предлагает следующие законы корректирующих моментов:

$$M_\alpha = -2B \cos \varepsilon \frac{V}{R} \cos(\psi + \alpha) \cos \beta - \mu K \sin \beta,$$

$$M_\beta = -2B \cos \varepsilon \frac{V}{R} \sin(\psi + \alpha) \sin \beta + 2B \cos \varepsilon (U \sin \varphi + \frac{V}{R} \sin(\psi + \alpha) \operatorname{tg} \varphi) \cos \beta + K \sin \beta, \quad (3)$$

$$M_\gamma = -K \sin \gamma,$$

$$M_\delta = -2B \cos \varepsilon [\omega \cos \varphi + \frac{V}{R} \sin(\alpha + \phi)] \cos \beta - 2B \sin \varepsilon [U \sin \varphi + \frac{V}{R} \sin(\alpha + \phi) \operatorname{tg} \varphi] \sin \beta + \sigma K \sin \gamma,$$

где μ , K , σ – некоторые постоянные. Если учесть соотношения

$$V \cos(\alpha + \phi) = V_N \cos \alpha - V_E \sin \alpha, \quad V \sin(\alpha + \phi) = V_E \cos \alpha + V_N \sin \alpha$$

между скоростью точки опоры и компонентами V_E , V_N , то уравнения движения в первом приближении в окрестности частного решения (2) примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} - \frac{V_N}{R} \operatorname{tg} \varphi \alpha - \left(\frac{K}{2B \cos \varepsilon} + U \cos \varphi \right) \beta + \frac{\sin \varepsilon}{\cos \varepsilon} \left(U \sin \varphi + \frac{V_E}{R} \operatorname{tg} \varphi \right) \delta &= 0, \\ \dot{\delta} + \frac{K}{2B \sin \varepsilon} \gamma &= 0, \quad \dot{\beta} + \frac{\mu K}{2B \cos \varepsilon} \beta + U \cos \varphi \alpha - \frac{\sin \varepsilon}{\cos \varepsilon} \frac{V_N}{R} \delta &= 0, \\ \dot{\gamma} + \frac{\sigma K}{2B \sin \varepsilon} \gamma - \frac{1}{2B \sin \varepsilon} \left(\chi + 2B \cos \varepsilon \left(U \cos \varphi + \frac{V_E}{R} \right) \right) \delta &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Так как вопрос стабилизации частного движения является достаточно произвольным, то корректирующий момент, приложенный по переменной α , сформируем по закону

$$M_x = -2B \cos \varepsilon \frac{V}{R} \sin(\psi + \alpha) \sin \beta + 2B \cos \varepsilon \times \left(U \sin(\varphi - \beta) + \frac{V}{R} \sin(\psi + \alpha) \operatorname{tg} \varphi \right) \cos \beta.$$

С учетом корректируемых моментов уравнения возмущенного движения в первом приближении примут вид

$$\dot{\alpha} - f_1\alpha + f_2\delta = 0, \quad \dot{\beta} + K_1\beta + U \cos \varphi \alpha - f_3\delta = 0, \quad (5)$$

$$\dot{\gamma} + \sigma_1\gamma - f_4\delta = 0, \quad \dot{\delta} + K_2\gamma = 0.$$

$$\text{где } f_1 = \frac{V_N}{R} \operatorname{tg} \varphi, \quad f_2 = \frac{\sin \varepsilon}{\cos \varepsilon} (U \sin \varphi + \frac{V_E}{R} \operatorname{tg} \varphi), \quad K_1 = \frac{\mu K}{2B \sin \varepsilon}, \quad K_2 = \frac{K}{2B \sin \varepsilon},$$

$$f_3 = \frac{\sin \varepsilon}{\cos \varepsilon} \frac{V_N}{R}, \quad \sigma_1 = \frac{\sigma K}{2 \sin \varepsilon}, \quad f_4 = \frac{1}{2 \sin \varepsilon} (\chi + 2 \cos \varepsilon (U \sin \varphi + \frac{V_E}{R})).$$

Для приведения системы к более простому виду из уравнений движения исключим переменную γ . $\ddot{\delta} = -K_2(-\sigma_1\gamma + f_4\delta) = -K_2(f_4\delta + \sigma_1 \frac{1}{K_2} \dot{\delta}) = -\sigma_1 \dot{\delta} - K_2 f_4 \delta$. Таким образом, урав-

нения возмущенного движения в первом приближении можно написать в виде

$$\dot{\alpha} - f_1\alpha + f_2\delta = 0, \quad \dot{\beta} + K_1\beta + U \cos \varphi \alpha - f_3\delta = 0, \quad (6)$$

$$\ddot{\delta} + \sigma_1 \dot{\delta} + K_2 f_4 \delta = 0.$$

Для исследования устойчивости невозмущенного движения введем новый параметр

$$\tau = \int_0^t \sqrt{K_2 f_4(s)} ds = \int_0^t \omega(s) ds.$$

Постоянную χ выбираем из условия $f_4 = \frac{1}{2 \sin \varepsilon} (\chi + 2 \cos \varepsilon (U \sin \varphi + \frac{V_E}{R})) > 0$. С учетом нового параметра система уравнений (6) примет вид

$$\dot{\alpha}_\tau - \frac{1}{\omega} (f_1\alpha - f_2\delta) = 0, \quad \dot{\beta}_\tau + \frac{1}{\omega} (U \cos \varphi \alpha - f_3\delta + K_1\beta) = 0, \quad (7)$$

$$\ddot{\delta}_\tau + \bar{\sigma}_1 \dot{\delta} + \delta = 0,$$

где $\bar{\sigma}_1 = \frac{\sigma_1}{\omega} - \frac{\dot{\omega}}{\omega^2}$. В качестве функции Ляпунова примем определенно-положительную функцию

$$V = \frac{1}{2} (\alpha^2 + 2d\alpha\beta + \beta^2 + \dot{\delta}^2 + \delta^2) \quad (1 - d^2 > 0). \quad (8)$$

Ее производная по параметру τ в силу уравнений (7) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \frac{1}{\omega} (\alpha(f_1\alpha - f_2\delta) + \beta(-K_1\beta - U \cos \varphi \alpha + f_3\delta) + \\ & + d(\beta(f_1\alpha - f_2\delta) + \alpha(-K_1\beta - U \cos \varphi \alpha + f_3\delta))) - \bar{\sigma}_1 \dot{\delta}^2 = \frac{1}{\omega} [(f_1 - dU \cos \varphi) \alpha^2 + \\ & + (df_1 - K_1d - U \cos \varphi) \alpha\beta - K_1\beta^2 + (-f_2 + df_3) \alpha\delta + (-df_2 + f_3) \beta\delta - \bar{\sigma}_1 \omega \dot{\delta}^2]. \end{aligned} \quad (9)$$

Согласно критерию Сильвестра, квадратичная форма (9) будет определено-отрицательной, если для любого значения τ главные диагональные миноры матрицы ее коэффициентов удовлетворяют условиям

$$\Delta_1 = a_{11} < 0, \Delta_2 = a_{11}a_{22} - a_{12}^2 > 0, \Delta_3 = a_{33}\Delta_2 < 0, \Delta_4 = a_{33}(2a_{12}a_{14}a_{24} - a_{14}^2a_{22} - a_{24}^2a_{11}) > 0.$$

С учетом введенных обозначений первое условие примет следующий вид:

$$\frac{V_N}{R} \operatorname{tg} \varphi - dU \cos \varphi < 0.$$

Учитывая изменение угла широты местонахождения $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$, получим

$$V_N \sin \varphi - dR(1 - \sin^2 \varphi) < 0 \text{ или}$$

$$\frac{-V_N - \sqrt{V_N^2 + 4d^2R^2}}{2dR} < s < \frac{-V_N + \sqrt{V_N^2 + 4d^2R^2}}{2dR}, \quad (10)$$

где $s = \sin \varphi$. Второе условие $\Delta_2 = a_{11}a_{22} - a_{12}^2 > 0$ примет вид

$$-4K_1(f_1 - dU \cos \varphi) - (df_1 - K_1d - U \cos \varphi)^2 > 0. \quad (11)$$

Третье условие выполняется автоматически $\Delta_3 = a_{33}\Delta_2 < 0$, если имеет место неравен-

$$\text{ство } \sigma_1 - \frac{\dot{\omega}}{\omega} > 0 \text{ или } \sigma_1 > \frac{1}{f_4} \frac{\cos \varepsilon}{\sin \varepsilon} (U \cos \varphi \frac{V_N}{R} + \frac{\dot{V}_E}{R}).$$

Наконец, последнее достаточное условие сводится к виду

$$(df_1 - K_1d - U \cos \varphi)(-f_2 + df_3)(-df_2 + f_3) + K_1(-f_2 + df_3)^2 - (f_1 - dU \cos \varphi)(-df_2 + f_3)^2 < 0 \quad (12)$$

Таким образом, достаточные условия асимптотической устойчивости частного решения (1), которое соответствует относительному положению равновесия гирогоризонткомпаса, представляют собой выполнение условий (10) – (12) в произвольный момент времени t .

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ройтенберг Я. Н. Гироскопы. М.: Наука, 1975.

Национальный университет Узбекистана
им. Мирзо Улугбека

Дата поступления
15.04.2015

М.Н. Сидиков. Гирогоризонт компаснинг хусусий ҳаракатини стабиллаш

Гирокомпасни ишлатиш мақсадида мос келувчи хусусий ҳаракатини стабиллаш масаласи қўрилган. Маълум бўлган стабилловчи моментлардан фарқли, ўқлардан бирига қўйиладиган моментни танлаб олиш ҳисобида хусусий ечимнинг устиворлигини белгиловчи етарлилик шартлари олинган.

M.N. Sidikov. Stabilization of individual traffic of gyrovertical compass

The problem of stabilization of the private traffic compass, which corresponds to the operation of the device for its intended purpose. Based on the selection of corrective torque than the famous one of the axes, we obtain sufficient conditions for the stability of the private traffic.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ФОРМ ТКАНЫХ ПОЛОТЕН ПРИ ВНУТРЕННИХ ДАВЛЕНИЯХ

Ткань моделируется как армирование оболочки с внутренними давлениями. Проекции главных направлений нитей в ткани приняты в форме [1]

$$\frac{N_{\beta}}{N_{\alpha}} = \frac{1 - (1 - \gamma) \cos^2 \varphi}{\gamma + (1 - \gamma) \cos^2 \varphi}, \quad (1, a)$$

где $N_{\alpha} = B_{11} \varepsilon_{\alpha} + B_{12} \varepsilon_{\beta}; \quad (1, б)$

$$N_{\beta} = B_{21} \varepsilon_{\alpha} + B_{22} \varepsilon_{\beta}; \quad (1, c)$$

$$\gamma = \frac{N_{\beta}}{N_{\alpha}} \Big|_{\varphi=0};$$

$B_{11}, B_{12}, B_{21}, B_{22}$ – коэффициенты, которые зависят от модуля упругости, коэффициента Пуассона и угла, которые образуют нить с плоскостью.

Подставляя в это равенство значение усилия и радиуса кривизны в соответствии с выражениями (1, б, с), получим следующее уравнение траектории нитей, определяющих оптимальную форму ткани:

$$\frac{ry''}{y'[1 + (y')^2]} = 2 - \frac{1 - (1 - \gamma) \cos^2 \varphi}{\gamma + (1 - \gamma) \cos^2 \varphi}. \quad (2)$$

Траектория нити, обеспечивающая равнопрочность ткани, определяется условием (1, а). Дифференцируя это равенство, получим

$$dr = -r \frac{\gamma - (1 - \gamma) \cos^2 \varphi}{1 - (1 - \gamma) \cos^2 \varphi} \frac{d[\cos \varphi]}{\cos \varphi}. \quad (3)$$

С помощью соотношения (2) уравнение (3) приводится к уравнению с разделяющимися переменными

$$\frac{d(y')}{y'[1 + (y')^2]} = 2 \frac{dr}{r} + \frac{\gamma - (1 - \gamma) \cos^2 \varphi}{1 - (1 - \gamma) \cos^2 \varphi} \frac{d \cos \varphi}{\cos \varphi}$$

и его первый интеграл

$$y' = - \frac{1}{\sqrt{c_1 \frac{[\gamma + (1 - \gamma) \cos^2 \varphi]^2}{r^4 \cos^2 \varphi} - 1}}. \quad (4)$$

Постоянная c_1 может быть найдена из условия параллельности касательной к образующей оси вращения при $r=a$. Полагая $y' \rightarrow \infty$ и $\varphi \rightarrow \varphi_a$ при $r=a$, найдем

$$c_1 = \frac{a^4 \cos^2 \varphi_a}{[\gamma + (1 - \gamma) \cos^2 \varphi_a]^2}.$$

Таким образом, оптимальная форма образующей рассматриваемой ткани определяется интегрированием уравнения (4)

$$y(r) = - \int_a^r \frac{dr}{\sqrt{\left[\frac{\gamma + (1-\gamma) \cos^2 \varphi}{\gamma + (1-\gamma) \cos^2 \varphi} - \frac{a^2 \cos^2 \varphi_a}{r^2 \cos^2 \varphi_a} \right]^2 - 1}}. \quad (5)$$

Для вычисления интеграла (5) применяем метод Ромбери.

Зависимость $y(r)$ может быть получена численным интегрированием уравнений (5). Отметим, что интеграл (5) является несобственным и для его оценки в окрестности особой точки $r=a$ может быть использована формула

$$y(\varepsilon) = -a \frac{\gamma - (1-\gamma) \cos^2 \varphi_a}{1 - (1-\gamma) \cos^2 \varphi_a} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{4(1-\gamma)^2 \cos^2 \varphi_a}{1 - (1-\gamma) \cos^2 \varphi_a} - \frac{4(1-\gamma) \cos^2 \varphi_a}{k + (1-\gamma) \cos^2 \varphi_a} - 4\gamma - 2}} \int_0^\varepsilon \frac{d\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon}} \quad (6)$$

где, как отмечалось, траектория нити (6) не может быть реализована на всей поверхности ткани [2]. Осуществляя достаточно громоздкие преобразования условий (2) с помощью соотношений (1), можно получить неравенство, определяющее допустимый угол изгиба нити в ткани φ_l в зависимости от угла φ_a при $r=a$

$$h(\varphi_a) \leq h(\varphi_l) + \beta^2 \Delta(\varphi_l), \quad (7)$$

где

$$h(\varphi) = \frac{\cos^{2(1-2k)} \varphi}{[k + (1-k) \cos^2 \varphi]^2 [1 - (1-k) \cos^2 \varphi]^{2(1-k)}};$$

$$\Delta(\varphi_l) = \frac{\sin^2 \varphi_l [k + 2(1-k) \cos^4 \varphi_l] [k - (1-k) \cos^2 \varphi_l]^2}{k^2 \cos^{2(2k-1)} \varphi_l [k + (1-k) \cos^2 \varphi_l]^4 [1 - (1-k) \cos^2 \varphi_l]^{2(1-k)}}.$$

Решение неравенства, определяющее диапазон возможных ткачеств в зависимости от φ_a при $k=0.09$ и $\beta=0.5$; $\beta=1$, показано на рис. 1. Задавая, например, значение угла $\varphi_a=11^\circ$ и проведя прямые до пересечения с границами диапазона, получаем, что переплетение по закону (6) возможно до угла $\varphi_l=34^\circ$. Заметим, что область существования траекторий (6) может быть существенно расширена увеличением коэффициента трения.

Таким образом, при изменении угла изгиба нити в ткани от φ_a до $\varphi_* \leq \varphi_l$, траектория нити выбирается в соответствии с равенством (6), ткань является равнопрочной и форма ее меридиана определяется уравнениями (5), (4). Ввиду того, что процесс непрерывности ткачества с полюсным радиуса r_0 требует выполнения равенства $\varphi(r_0)=\pi/2$, представляется целесообразным продолжить траекторию нити в ткани (6) для $\varphi \geq \varphi_*$ по геодезической линии, т.е. принять при

$$\varphi_* \leq \varphi_l \leq \pi/2 \quad r \sin \varphi = r_0. \quad (8)$$

Тогда радиус r_* и угол φ_* , удовлетворяющие одновременно равенства (5) и (8), могут быть выражены через параметры φ_a и r_0 (см. рис. 1):

$$r_* = r_0 / \sin \varphi_* \quad (9)$$

$$\frac{r_0}{a} = \frac{\cos^\gamma \varphi_a [1 - (1-\gamma) \cos^2 \varphi_a]^{\frac{1-\gamma}{2}}}{\cos^\gamma \varphi_* [1 - (1-\gamma) \cos^2 \varphi_*]^{\frac{1-\gamma}{2}}} \sin \varphi_* \quad (10)$$

Форма образующей ткани на участке $r_0 \leq r \leq r_*$ определяется уравнением (1) и траекторией нити в ткани (9).

На рис. 2. показаны траектория нити в ткани при угле наклона $\varphi_1=29^\circ$, $\varphi_2=17^\circ$.

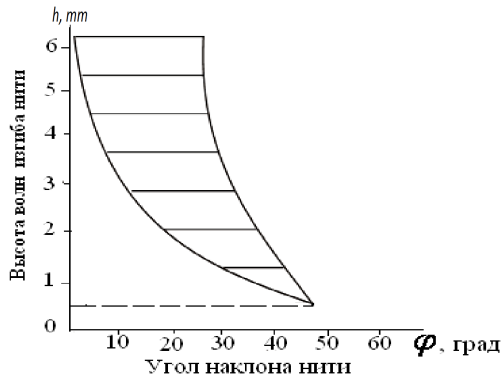


Рис. 1. Определение предельно возможного угла φ , обеспечивающего равнопрочность ткани полотна

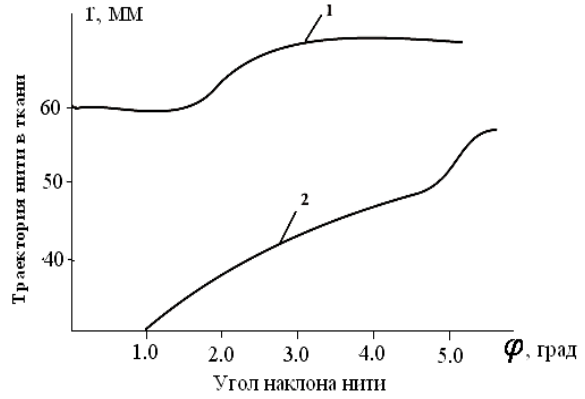


Рис. 2. Изменение траектории нити в ткани при угле наклона нитей $\varphi_1=29^\circ$, $\varphi_2=17^\circ$, $k=0.09$

Длина траектории нити увеличивается при большом угле наклона, при меньшем угле наклона траектория уменьшается:

$$\frac{ry_1''}{y_1'[1+(y_1')^2]} = 2 - \frac{r^2 k + (1-k)r_0^2}{r^2 - (1-k)r_0^2}. \quad (11)$$

Решение уравнения (11) имеет вид

$$y_1(r) = - \int_{r_*}^r \frac{r^3 dr}{\sqrt{c_r [r^2 - (1-k)r_0^2]^{\frac{1+k}{2}} - r^6}} + C_3. \quad (12)$$

Постоянные C_2 и C_3 могут быть найдены из условия непрерывности образующей и ее производной при $r = r_*$, т.е. $y(r_*)=y_1(r_*)$, $y'(r_*)=y_1'(r_*)$.

При этом с помощью равенств (6), (12) получим

$$C_2 = \frac{r_*^6}{[r_*^2 - (1-k)r_0^2]^{\frac{1+k}{2}}} \cdot \frac{1+[y'(r_*)]^2}{y'(r_*)}; \quad C_3 = y(r_*). \quad (13)$$

При $r_0 \leq r \leq r_*$ ткани, образующиеся в форме (12), уже не являются равнопрочными, однако, непосредственное исследование их напряженного состояния показывает, что при изменении r от r_* до r_0 напряжения в нитях и связующем уменьшаются, т.е. ткани, удовлетворяющие условию прочности при $r_0 \leq r \leq a$, будут заведомо прочными и при $r_0 \leq r \leq r_*$. Расчетная толщина ткани k_a при $r=a$ может быть найдена из условия прочности (7). Учитывая, что $r=a$, в соответствии с первым равенством (13) получим

$$h = \frac{\rho a \sqrt{F_{11} + kF_{12} + k^2 F_{22}}}{2[k + (1-k) \cos^2 \varphi_a]}.$$

Эта зависимость описывает волны изгиба в зависимости от геометрических и физико-механических параметров нити ткани, а также обобщает ранее известные формулы волны изгиба в зависимости от различных параметров системы.

Наибольшая весовая эффективность ткани реализуется при φ_a и φ_* , которые соответствуют минимальным значениям структуры ткани (высота волн изгиба нитей, радиус диаметра нити). При этом величина r_* должна соответствовать неравенству $r_* > r_{min}$, где r_{min} определяется равенством (12).

Здесь ρ – плотность ткани; a – длина нити по оси "y" или "x".

Полученные формулы обобщают ранее известные формулы Н.П. Исакова (8, 9). Полученные нами формулы являются функцией геометрических и физико-механических параметров системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Светлицкий В. А. Механика гибких стержней и нити. М.: Машиностроение, 1979. – 206 с.
- [2] Хамраева С. А., Саъдуллаева Д. А. Оптимальная форма тканых полотен при внутренних давлениях. Теоретические знания-практические дела // Материалы Международной научно-методической конференции. Омск, 2009. Т. 1. С. 83 – 85.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Дата поступления
13.04.2015

Г. Абдиева, Н.Б. Юсупова, С.А. Хамраева, А.А. Акбаров, Р. Бегмонов. Ички босим таъсирида тўқиманинг оптимал формасини аниқлаш

Ишда тўқима структуравий бир жинсли бўлмаган ички босим таъсиридаги қобиқ деб моделиштирилган ҳамда тўқиманинг энг муқобил формаси танланган.

G. Abdiyeva, N.B. Yusupova, S.A. Hamrayeva, A.A. Akbarov, R. Begmonov. Determination of optimal forms woven internal pressure

In order to determine the rational forms woven fabric is modeled as a reinforced shell with internal pressure.

УДК 539.3, 624.1

Д.А. БЕКМИРЗАЕВ

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СЕЙСМОДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Землетрясения – это стихийные бедствия, которым подвержены многие районы земного шара. Последствиями таких грозных как землетрясения стихийных бедствий являются разрушения зданий, плотин, мостов, подземных сооружений, часто сопровождающиеся пожарами. Во многих случаях разрушения приводят к большим человеческим жертвам. Поэтому при строительстве в районах с повышенной сейсмической активностью необходимо создавать сейсмостойкие сооружения [1–4].

Анализ повреждений конструкций, вызванных землетрясениями, является важной задачей современной науки, так как позволяет критически подойти к проектированию новых сооружений. Подземные сооружения служат неотъемлемой частью инфраструктуры современных городов и используются в качестве транспортных сетей, подземных стоянок, хранилищ и т.п. Сооружения, построенные в районах с повышенной сейсмической активностью, должны выдерживать и сейсмические нагрузки.

На сегодняшний день промышленные предприятия и системы жизнеобеспечения играют решающую роль в жизни человека и в развитии экономики страны. По этой причине их структурная безопасность в экстремальных условиях, таких как сильные землетрясения, должна быть обеспечена, особенно когда большое количество токсичных и горючих материалов находится и транспортируется в этих сооружениях. Почти всегда после землетрясений аварийность на трубопроводах возрастает. В подземных сооружениях выход из строя одной части влияет на работоспособность всей системы, а в наземных имеет локальный характер.

Современные города растут не только вширь, ввысь, но и в глубину на основе использования подземного пространства. Трубопроводы горячего и холодного водоснабжения, система канализации, электрические, телефонные кабельные линии, наряду с линиями метро, гаражами и т.д. – все они в совокупности создают новую среду, мало похожую на традиционную грунтовую. Осредненно все, что находится под современным мегаполисом, скорее следует рассматривать как грунтовую среду с нарушенной структурой. Ключевой проблемой является, с одной стороны, конструктивная особенность сооружения, а с другой – оценка характера взаимодействия в системе «сооружение – грунт» [5].

Землетрясение представляет собой сложный процесс, влияющий на работу сооружений. Обычно распространение сейсмической волны действует на сооружения под некоторым углом (в том числе подземные трубопроводы), что приводит к колебаниям сооружений, поэтому необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние (НДС) трубопроводов. Предлагаем под-

ход определения НДС трубопровода, подвергающегося воздействию произвольно направленной сейсмической волны по отношению к оси трубопровода.

Постановка задачи. На основе допущений, приведенных в работах [6, 7], трубопровод моделируется в виде стержня, а перемещения выбираются следующим образом:

$$u_1 = u - y\alpha_1 - z\alpha_2, \quad u_2 = v + z\theta, \quad u_3 = w - z\theta, \quad (1)$$

где u_1, u_2, u_3 – перемещения точки трубопровода; u – продольное перемещение; v, w – поперечные перемещения; α_1, α_2 – угол поворота сечения трубы; θ – угол кручения.

Принимаем, что трубопровод деформируется в пределах упругости. Поэтому для материала трубопровода рассматривается закон Гука

$$\sigma_{11} = E\varepsilon_{11}, \quad \sigma_{12} = G\varepsilon_{12}, \quad \sigma_{13} = G\varepsilon_{13}, \quad (2)$$

где ε_{ij} – соотношения Коши имеют вид

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x}, \quad \varepsilon_{12} = \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x}, \quad \varepsilon_{13} = \frac{\partial u_1}{\partial z} + \frac{\partial u_3}{\partial x}. \quad (3)$$

Для вывода системы дифференциальных уравнений движения с граничными и начальными условиями используем вариационный принцип Гамильтона – Остроградского

$$\int_t (\delta T - \delta \Pi + \delta A) dt = 0, \quad (4)$$

где T, Π – кинетическая и потенциальная энергии; A – работа внешних сил; t – время. На основе вариационного принципа Гамильтона–Остроградского (4) в частном случае [8]

$$u_1 = u - y\alpha_1, \quad u_2 = v, \quad (5)$$

$$\sigma_{11} = E \left(\frac{\partial u}{\partial x} - y \frac{\partial \alpha_1}{\partial x} \right), \quad \sigma_{12} = G \frac{\partial v}{\partial x} - G \alpha_1. \quad (6)$$

Интенсивность нормальных и касательных напряжений [9]

$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2\sigma_{11}^2 + 6\sigma_{12}^2}, \quad (7)$$

$$\tau_u = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{2\sigma_{11}^2 + 6\sigma_{12}^2}. \quad (8)$$

Система уравнений из работы [8] с учетом граничных и начальных условий решается методом конечных разностей второго порядка точности. На основе разработанного компьютерного алгоритма составлена программа на Borland Delphi 7 и получены численные результаты.

Анализ численных результатов. Разработаны алгоритм и программа расчета подземных трубопроводов в случае падения сейсмической волны под углом к оси трубопровода, что соответствует произвольному сейсмическому нагружению. В качестве примера рассмотрим следующие задачи.

Задача. Рассмотрим стальной подземный трубопровод, оба конца которого податливо закреплены. Параметры A, k_x и C_p выбираются согласно балльности землетрясений, глубины заложения трубопровода, состояния грунта, механических и геометрических характеристик трубопровода ($k_x = 5000 - 35000$ кН/м³, $A = 0.0011 - 0.015$ м, $C_p = 500 - 4500$ м/с, $l = 60$ м).

При разных значениях времени и углах падения сейсмической нагрузки с увеличением балла землетрясения значения продольного и поперечного перемещений увеличиваются, а повышение скорости продольной волны приводит к уменьшению значений продольного и поперечного перемещений (рис. 1, а, б).

Увеличение параметра k_x приводит к уменьшению значений продольных и поперечных смещений, а увеличение балльности землетрясения – к увеличению значений продольных и поперечных смещений (рис. 1, в, г).

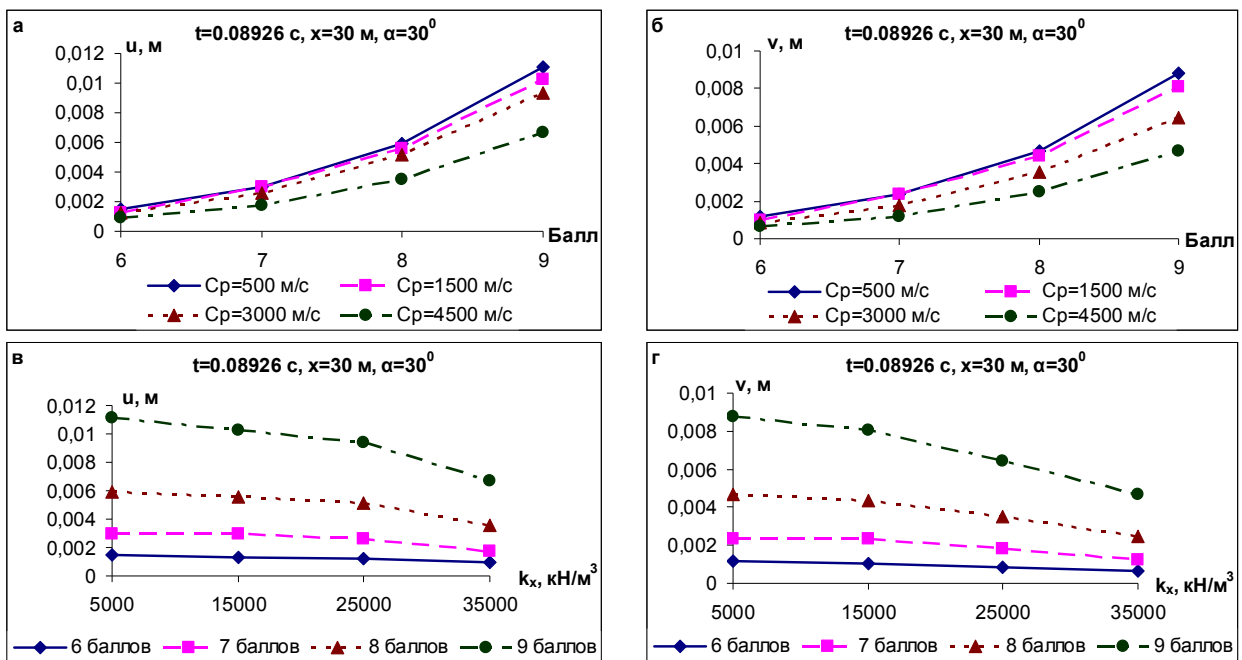


Рис. 1. Изменение значений продольных и поперечных перемещений при изменении балльности землетрясений и параметра k_x при заданном времени

С увеличением балльности землетрясения увеличиваются значения интенсивности нормальных и касательных напряжений, а с увеличением значения параметра k_x – уменьшаются (рис. 2, а, б, в, г). Отметим, что с увеличением значений x вдоль оси трубопровода значения σ_u и τ_u уменьшаются до середины трубопровода (см. рис. 2).

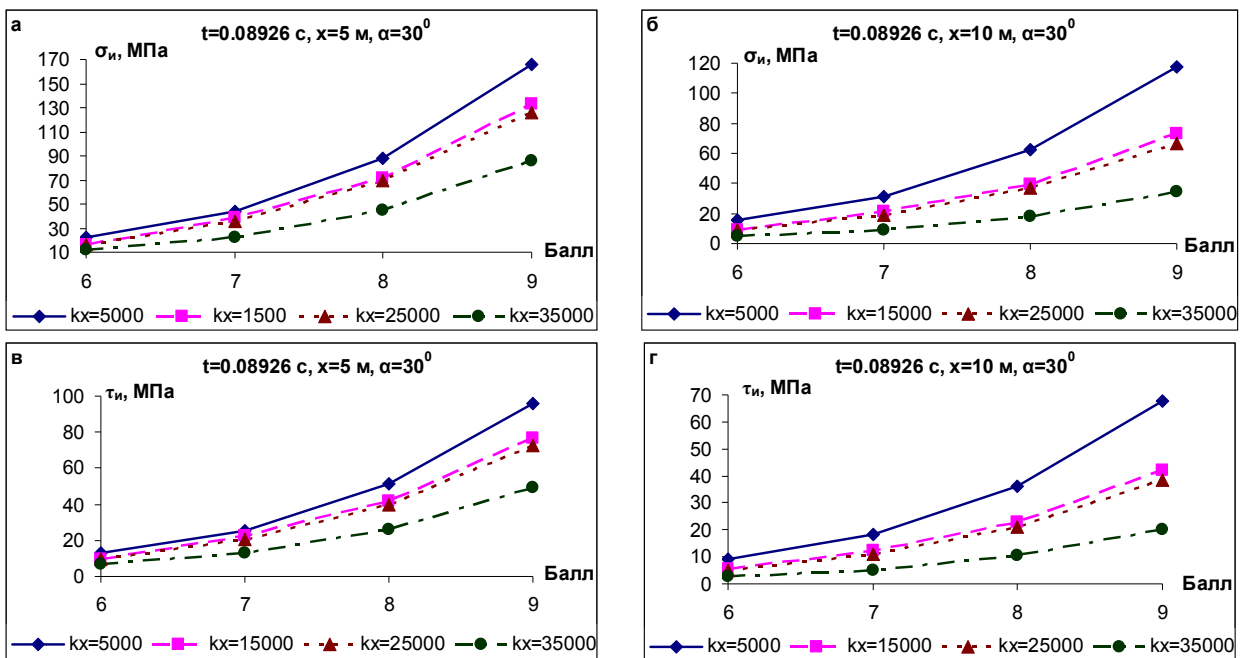


Рис. 2. Изменение значений интенсивности нормальных и касательных напряжений в зависимости от изменения балльности землетрясения и параметра k_x при заданном значении времени

С повышением скорости продольной волны значения интенсивности нормальных и касательных напряжений уменьшаются, а с увеличением балльности землетрясения значений этих

напряжений увеличиваются (рис. 3, а, б, в, г). Здесь также увеличение координаты вдоль оси трубопровода приводит к уменьшению значений указанных напряжений (рис. 3).

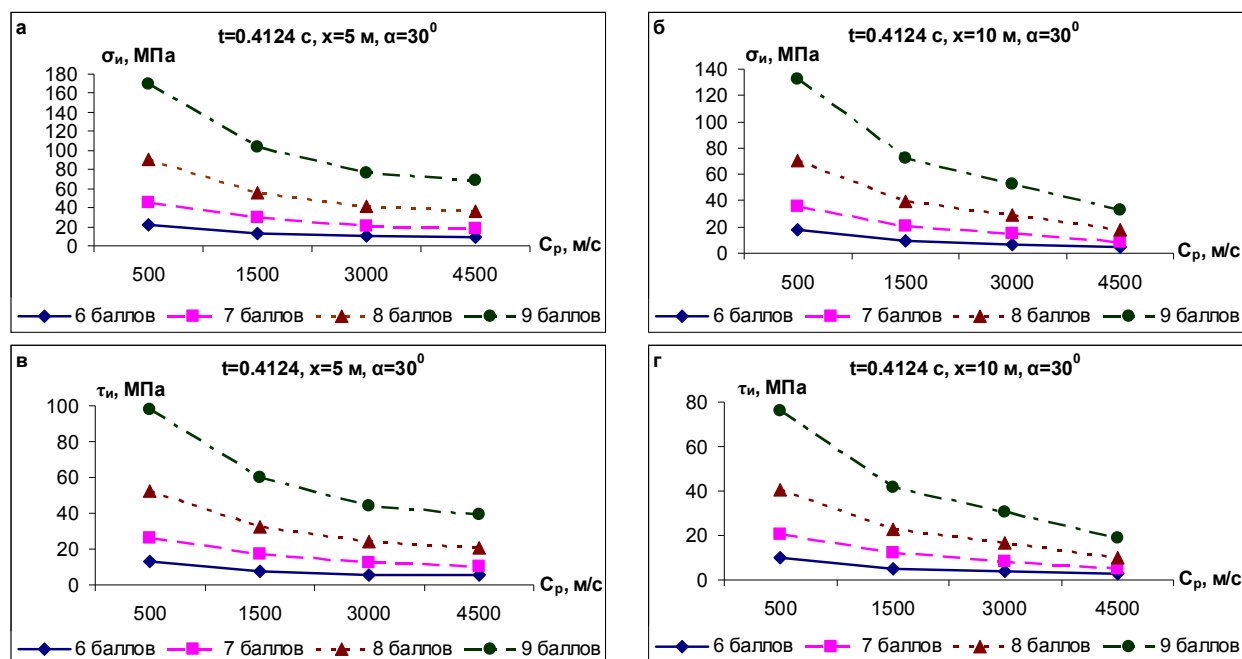


Рис. 3. Изменение значений интенсивности нормальных и касательных напряжений в зависимости от продольной скорости при заданном времени

Результаты решения рассматриваемой задачи приведены в виде графиков (см. рис. 1 – 3). Анализ результатов показывает, что максимальные значения интенсивности нормальных и касательных напряжений, продольных и поперечных усилий происходят на границе стыковки подземного трубопровода. Разработанные программные средства позволяют провести комплексный анализ прочности подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях и реализуют системный подход к определению последствий землетрясения на НДС трубопровода и к планированию инженерных мероприятий по обеспечению безопасной и надежной эксплуатации подземного трубопровода на сейсмоопасных участках.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Уразбаев М.Т. Сейсмостойкость упругих и гидроупругих систем. Ташкент: Фан, 1966. – 254 с.
- [2] Рашидов Т.Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Ташкент: Фан, 1973. – 180 с.
- [3] Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. Ташкент: Фан, 1985. – 152 с.
- [4] Корчинский И.Л. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1971. – 320 с.
- [5] Рашидов Т.Р., Ан Е.В. Сейсמודинамика сооружений, взаимодействующих с грунтом, в материалах Международной конференции по проектированию в геотехнической инженерии (Токио, Япония, 2009 г.) // Узбекский журнал «Проблемы механики». Ташкент, 2013. № 3–4. С. 40–45.
- [6] Кабулов В.К. Алгоритмизация в теории упругости и деформационной пластичности. Ташкент: Фан, 1966. – 386 с.
- [7] Рашидов Т.Р., Юлдашев Т. Математические модели сейсמודинамики сложных систем подземных сооружений // Современные проблемы прочности, пластичности и устойчивости. Тверь: ТГТУ, 2007. С. 272–277.
- [8] Бекмирзаев Д.А., Рашидов Т.Р. Решение задачи сейсמודинамики подземных трубопроводов при нагружениях произвольного направления // Узбекский журнал «Проблемы механики». Ташкент, 2014. № 3–4. С. 8–13.
- [9] Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. М.: Высшая школа, 1990. – 400 с.

Д.А. Бекмирзаев. Ер ости қувурлари сейсмодинамикасининг амалий масалалари

Мақолада ер ости қувурлари сейсмодинамикаси амалий масалаларининг умумий қўйилиши келтирилган. Ер ости қувурининг грунт билан ўзаро таъсири zilzila интенсивлиги (балл) билан bogliq равишда тадқиқ этилган. Натижалар график кўринишида келтирилган ва таҳлил этилган.

D.A. Bekmirzaev. Practical problems seismodynamics underground pipelines

We consider the general statement of decision problems seismodynamic problems of underground pipelines. The interaction of the underground pipeline with the ground, taking into account the intensity of the earthquake. The results are shown in graphs is an analysis of the results.

УДК 539.3

А.Т. БУРИЕВ

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СИСТЕМЫ “ЗДАНИЕ – ФУНДАМЕНТ” ПРИ ДЕЙСТВИИ УПРУГОЙ ПЛОСКОЙ СДВИГОВОЙ ВОЛНЫ

Массовое строительство крупнопанельных и каркасных зданий, в том числе в районах с сейсмической активностью, ставит перед исследователями задачу, имеющую первостепенное народнохозяйственное значение, – дальнейшее совершенствование методов статического и динамического расчета зданий с учетом всего многообразия факторов, влияющих на их напряженно-деформированное состояние.

Важное место в решении этой проблемы принадлежит строительной науке, в частности, строительной механике и теории сооружения. Несмотря на значительные достижения отечественной науки, в области расчета зданий и сооружений имеется еще много нерешенных задач.

В настоящее время методы статического и особенно динамического расчета пространственных сооружений типа многоэтажных зданий разработаны еще недостаточно полно, что объясняется, прежде всего, большой сложностью рассматриваемых механических моделей. Активизация совершенствования вычислительной техники и разработка таких эффективных вычислительных методов, как метод конечных элементов и метод конечных разностей, в настоящее время позволяют решать многие проблемы пространственного расчета зданий на сейсмостойкость.

Большое развитие получили аналитические методы расчета зданий, основанные на выборе достаточно адекватных упрощенных схем, позволяющих интегрально оценить напряженно-деформированное состояние их элементов (стен, колонн, диафрагм, перекрытий и т.п.).

Полный учет механических свойств здания, фундамента и грунтового основания невозможен. Поэтому для определения напряженно-деформированного состояния оснований и сооружений, главным образом, используются расчетные модели основания, схематически описывающие механические процессы, протекающие в грунтах, в математической форме, делающей достаточно доступными необходимые вычисления.

В статье использована упрощенная схема расчета здания и фундамента при действии плоской волны на здание с фундаментом. Задача решается в плоской постановке. Здание и фундамент рассматриваются как прямоугольное упругое тело.

Постановка задачи. Пусть на свободной поверхности полупространства с физическими характеристиками грунта, окружающей фундамент (ρ_1, λ_1, μ_1), заглублен прямоугольный фундамент с характеристиками (ρ_2, λ_2, μ_2), высотой H , шириной L и на фундаменте находится здание высотой H_1 , шириной L , плотностью ρ_3 , с упругими характеристиками Ляме (λ_3, μ_3). Из глубины полупространства набегают плоская волна сдвига, фронт которой параллелен к свободной поверхности. Будем полагать, в начальный момент времени фронт волны достиг подошвы фундамента (рис.1).

В падающей волне перемещение имеет только горизонтальную составляющую и на рис. 1 обозначено буквой u . Фронт падающей волны параллелен к свободной поверхности полупространства.

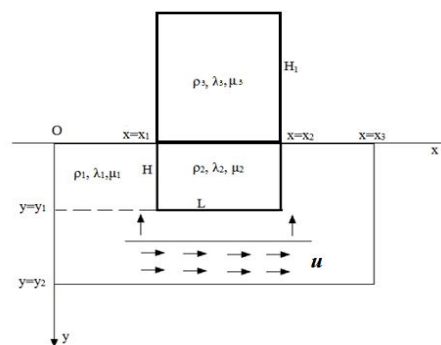


Рис. 1. Расчетная схема задачи

Решим эту задачу в плоской постановке. Начало координат (xOy) поместим на свободной поверхности на расстоянии x_1 от фундамента, а ось y направим по глубине грунта, как показано на рис. 1. Координаты $x=x_1$, $x=x_2$, $y=y_1$ определяют положение фундамента, координаты $x=x_1$, $x=x_2$, $y=0$, $y=-H_1$ – положение здания.

Движение грунта, фундамента и здания описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\rho_i \frac{\partial^2 u^i}{\partial t^2} &= \frac{\partial \sigma_{xx}^i}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}^i}{\partial y}, \\ \rho_i \frac{\partial^2 v^i}{\partial t^2} &= \frac{\partial \tau_{yx}^i}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}^i}{\partial y},\end{aligned}\quad (i=1,2,3), \quad (1)$$

где индекс $i=1$ относится к грунту, $i=2$ – к фундаменту, $i=3$ – к зданию.

На свободной поверхности граничные условия имеют вид

$$\begin{aligned}\sigma_{yy}^1 &= 0, \\ \tau_{yx}^1 &= 0,\end{aligned}\quad y=0, \quad -\infty < x < x_1, \quad x_2 < x < \infty. \quad (2)$$

На границе контакта грунта и фундамента, фундамента и здания выполняется условие прилипания

$$\begin{aligned}u^1 &= u^2, \quad v^1 = v^2, \\ \sigma_{xx}^1 &= \sigma_{xx}^2, \quad \tau_{xy}^1 = \tau_{xy}^2,\end{aligned}\quad 0 \leq y \leq y_1, \quad x = x_1, \quad x = x_2, \quad (3)$$

$$\begin{aligned}u^1 &= u^2, \quad v^1 = v^2, \\ \sigma_{yy}^1 &= \sigma_{yy}^2, \quad \tau_{yx}^1 = \tau_{yx}^2,\end{aligned}\quad x_1 \leq x \leq x_2, \quad y = y_1. \quad (4)$$

$$\begin{aligned}u^3 &= u^2, \quad v^3 = v^2, \\ \sigma_{yy}^3 &= \sigma_{yy}^2, \quad \tau_{yx}^3 = \tau_{yx}^2,\end{aligned}\quad x_1 \leq x \leq x_2, \quad y = 0. \quad (5)$$

На свободной поверхности здания, т.е. на линиях $x=x_1$, $x=x_2$, $-H_1 \leq y \leq 0$

$$\sigma_{yx}^3 = 0, \quad \sigma_{yy}^3 = 0. \quad (6)$$

и на $x_1 \leq x \leq x_2$, $y = -H_1$

$$\sigma_{yx}^3 = 0, \quad \sigma_{yy}^3 = 0. \quad (7)$$

В качестве начального условия $t=0$ примем тот момент времени, когда фронт волны подходит к нижней части фундамента, т.е.

$$u^1 = u^0, \quad \frac{\partial u^1}{\partial t} = \frac{\partial u^0}{\partial t}, \quad v^1 = v^0, \quad \frac{\partial v^1}{\partial t} = \frac{\partial v^0}{\partial t}, \quad \text{при } y > y_1, \quad -\infty < x < \infty, \quad (8)$$

здесь верхний индекс 0 соответствует перемещениям падающей волны.

Перед фронтом волны, т.е. для фундамента и здания, заданы следующие нулевые начальные условия:

$$u^2 = 0, \quad \frac{\partial u^2}{\partial t} = 0, \quad v^2 = 0, \quad \frac{\partial v^2}{\partial t} = 0, \quad (9)$$

$$u^3 = 0, \quad \frac{\partial u^3}{\partial t} = 0, \quad v^3 = 0, \quad \frac{\partial v^3}{\partial t} = 0. \quad (10)$$

Решить эту задачу аналитическими методами очень сложно, поэтому применим один из численных методов – метод конечных разностей. При численном решении задачи выделим расчетную конечную область в полупространстве (фиктивную границу) $0 \leq y \leq y_2$, $0 \leq x \leq x_3$ и зададим

граничные условия на контуре рассматриваемой области. Фиктивную границу должны выбрать так, чтобы в рассматриваемом промежутке времени волнового процесса отраженные волны от фундамента не достигли границы расчетной области в грунте.

Так как в рассматриваемой задаче фронт падающей волны параллелен свободной поверхности, на линиях $x=0$ и $x=x_3$ движение точек опишется уравнением

$$\rho_1 \frac{\partial^2 u^1}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau_{xy}^1}{\partial y}, \quad (11)$$

а на линии $y=y_2$, $0 \leq x \leq x_3$ движение точек определяется падающей волной, т.е.

$$u^1 = u^0, \quad v^1 = v^0. \quad (12)$$

При численном решении методом конечных разностей расчетную область разделим на равномерную сетку шагом h и узловые точки обозначим через $x_i = ih$, $y_j = jh$, $0 \leq i \leq I_3$, $0 \leq j \leq J_2$. При описании алгоритма численного решения задачи в дальнейшем опускаем верхние индексы в перемещениях и напряжениях, относящихся к грунту здания и фундаменту. Для вычисления напряжений в узлах для грунта и во внутренних узлах в области расчета здания и фундамента используем следующие разностные схемы:

$$\begin{aligned} \sigma_{xxi+1/2,j}^k &= (\lambda + 2\mu) \frac{u_{i+1,j}^k - u_{i,j}^k}{h} + \lambda \frac{v_{i,j+1}^k + v_{i+1,j+1}^k - v_{i,j-1}^k - v_{i+1,j-1}^k}{4h}, \\ \tau_{xyi+1/2,j}^k &= \mu \left(\frac{v_{i+1,j}^k - v_{i,j}^k}{h} + \frac{u_{i,j+1}^k + u_{i+1,j+1}^k - u_{i,j-1}^k - u_{i+1,j-1}^k}{4h} \right), \\ \sigma_{yyi,j+1/2}^k &= (\lambda + 2\mu) \frac{v_{i,j+1}^k - v_{i,j}^k}{h} + \lambda \frac{u_{i+1,j+1}^k + u_{i+1,j}^k - u_{i-1,j-1}^k - u_{i-1,j}^k}{4h}, \\ \tau_{xyi,j+1/2}^k &= \mu \left(\frac{u_{i,j+1}^k - u_{i,j}^k}{h} + \frac{v_{i+1,j+1}^k + v_{i+1,j}^k - v_{i-1,j-1}^k - v_{i-1,j}^k}{4h} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Уравнения движения (1) в разностном виде для внутренних узлов имеют вид

$$\begin{aligned} \rho \frac{u_{i,j}^{k+1} - 2u_{i,j}^k + u_{i,j}^{k-1}}{\tau^2} &= \frac{\sigma_{xxi+1/2,j}^k - \sigma_{xxi-1/2,j}^k}{h} + \frac{\tau_{xyi,j+1/2}^k - \tau_{xyi,j-1/2}^k}{h}, \\ \rho \frac{v_{i,j}^{k+1} - 2v_{i,j}^k + v_{i,j}^{k-1}}{\tau^2} &= \frac{\tau_{xyi+1/2,j}^k - \sigma_{yyi-1/2,j}^k}{h} + \frac{\sigma_{yyi,j+1/2}^k - \sigma_{yyi,j-1/2}^k}{h}. \end{aligned} \quad (14)$$

Здесь τ – шаг по времени, верхние и нижние индексы соответственно означают узлы по времени и по пространству. Особенность этой аппроксимации состоит в том, что перемещения вычисляются в узлах целыми индексами, а напряжения – в расстояниях на полушагах от узла сетки и аппроксимируют уравнение (1) с погрешностью $O(\tau^2 + h^2)$. В отличие от работ [1, 2] разностная схема (14) удобна при аппроксимации граничных условий и позволяет избежать вычисления напряжений в угловых точках здания и фундамента.

После аппроксимации граничных (2) – (7), (11) – (12) и начальных условий (8) – (10) получим замкнутую систему разностных уравнений для решения задачи.

Рассмотрим колебание здания при действии сдвиговой волны, в котором напряжения в падающей волне по времени меняются по следующему закону:

$$\tau_{yx}^0 = \begin{cases} \frac{t\tau_0}{t_1} & \text{при } 0 \leq t \leq t_1, \\ \tau_0 & \text{при } t > t_1 \end{cases}, \quad \sigma_{xx}^0 = \sigma_{yy}^0 = 0, \quad (15)$$

где τ_0 – амплитуда касательного напряжения в падающей волне.

Выбор падающей волны в таком виде оправдывается тем, что длина сейсмической волны в несколько раз превышает размеры здания и фундамента и конечную амплитуду.

Численные результаты. При численном решении задачи расчеты проводились в безразмерных параметрах и приняты $\rho_1=1$, $a_1=1$ (a_1 – скорость продольных волн в грунте), $v_1=0.35$, ($b_1=0.48$, b_1 – скорость поперечных волн в грунте). Для фундамента и здания приняты $\rho_2=\rho_3=1.3$, $a_2=a_3=3$, $v_2=v_3=0.2$, $H=1$, $L=7$ (H , L – высота и длина фундамента), ($b_2=b_3=1.837$, b_2 , b_3 – скорость поперечных волн в фундаменте и в здании) $H_1=8$ (H_1 – высота здания), $\tau_0=1$, $h=0.1$, $\tau=0.025$ (h – шаг сетки по пространству, τ – шаг сетки по времени). В расчетной сетке пространство грунта разбито по глубине на 100 узлов, т.е. $0 \leq j \leq 100$, по горизонтали – 210 ($0 \leq i \leq 210$). К фундаменту здания относятся узлы $70 \leq i \leq 140$, $90 \leq j \leq 100$, к зданию – узлы $70 \leq i \leq 140$, $100 \leq j \leq 180$.

После соударения фронта волны подошвы фундамента здания из угловых точек фундамента по пространству начинают распространяться цилиндрические волны, а по фундаменту и зданию – продольная и сдвиговая волны. При $t=3$ (время безразмерное) в этот момент времени фронт продольной волны, распространяющейся в здании, подходит на верхнюю свободную поверхность здания (линия $j=180$), т.е. крышу (рис. 2), а фронт поперечной волны – к линии $j=130$.

На рис. 2 показаны линии равных уровней вертикальных составляющих скоростей частиц. По графику видно, что по отношению к оси симметрии здания, фундамента, скорости частиц имеют противоположные направления, т.е. разные знаки. Это означает, что левая сторона здания и фундамента сжимается, а правая сторона растягивается. Перед фронтом поперечной волны в здании (для узлов $130 \leq j \leq 180$, $70 \leq i \leq 140$) изгиб здания не происходит, так как существуют только продольные составляющие перемещения волны. За фронтом поперечной волны (для узлов фундамента и здания $70 \leq i \leq 140$, $90 \leq j \leq 130$) происходит изгиб. Это подтверждает рис. 3, что линии уровня напряжения σ_{yy} (значения со знаком плюс означают сжатие, а со знаком минус – растяжение), и видно, что концентрация напряжения происходит в угловых точках фундамента.

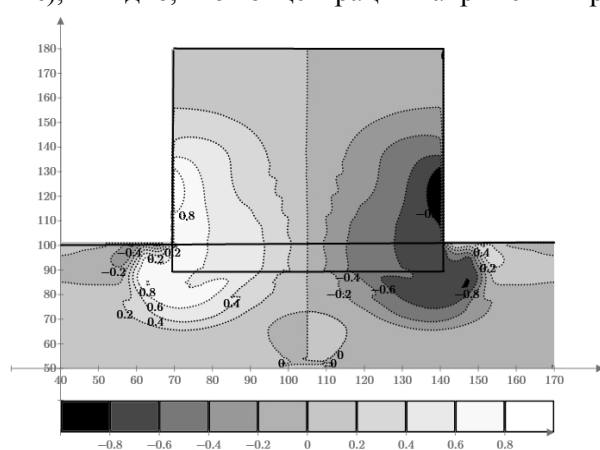


Рис. 2. Линии равных уровней вертикальных составляющих скоростей частиц

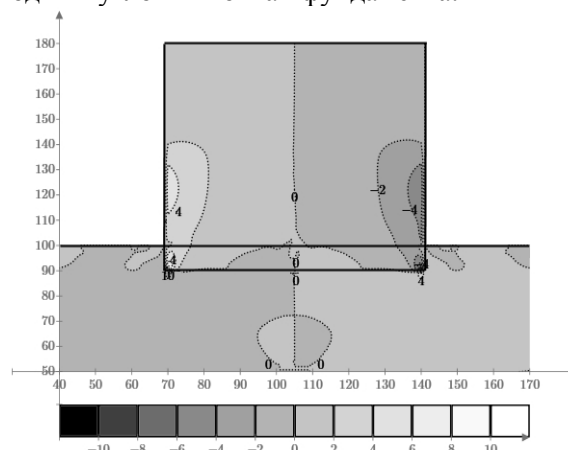


Рис. 3. Линии равных уровней напряжения σ_{yy}

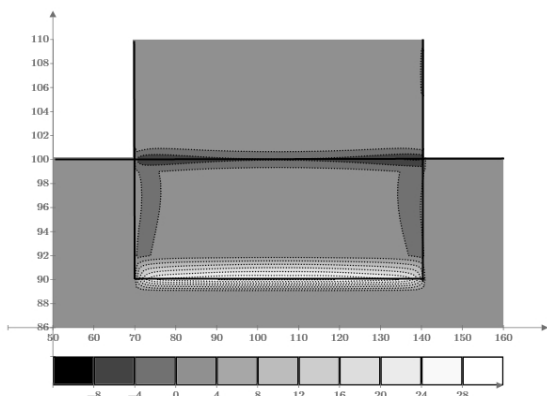


Рис. 4. Линии равных уровней касательного напряжения τ_{xy} в окрестности фундамента

На рис. 4 приведен график распределения касательного напряжения τ_{xy} в момент $t=3$ в окрестности фундамента здания. Видно, что наибольшие касательные напряжения возникают под подошвой фундамента и на уровне свободной поверхности грунта и при этом имеют разные знаки. Это означает, что срез происходит в двух направлениях.

Анализ результатов показывает, что в начальные моменты взаимодействия грунта и здания при действии сдвиговой волны разрушение грунтового слоя происходит под фундаментом здания. При этом опасной зоной для здания является линия на уровне свободной поверхности грунта, т.е. свободной поверхности полупространства.

При принятом времени $t=9$ продольная волна по зданию пробегает 3 раза, и оно в этот момент находится в изгибном состоянии. Из-за отражения и излучения волн в грунтовую среду значения касательных напряжений под подошвой фундамента снижаются, а на уровне свободной поверхности, в данном случае на линии контакта фундамента и здания, еще остаются высокими.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жураев У.Ш., Буриев А.Т. Расчет прямоугольной выработки мелкого заложения при действии динамической нагрузки //Проблемы механики. Ташкент, 2012. № 1. С. 22 – 26.
- [2] Жўраев Ў.Ш., Бўриев А.Т. Чуқур ўрнатилмаган тўғри тўртбурчак шаклидаги туннельни текис тўлқин таъсиридаги тебраниши //Проблемы механики. Ташкент. 2012. № 3. С. 10 – 13.

Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз

Дата поступления
16.04.2015

А.Т. Буриев. Текис кўндаланг эластик тўлқин таъсирида “бино-фундамент” тизимининг ностационар тебраниши

Мақолада ностационар текис кўндаланг тўлқин таъсирида бино ва фундаментнинг ҳаракати, уларда юзага келадиган кучланганлик ҳолати ўрганилган. Бино ва унинг фундаменти тўғри тўртбурчак эластик жисм шаклида қаралган. Эластиклик назариясининг динамик текис масаласи сонли чекли айирмалар усули ёрдамида ечилган.

A.T. Buriev. Non-stationary oscillations of system “the building - the base” at action of the elastic flat shift wave

In the article motion and a tension of a building and its base is considered at action of a non-stationary elastic flat shift wave. The building and its base is considered as a rectangular elastic body. The flat problem of the dynamic theory of elasticity is decided by means of a numerical method of final differences.

УДК 624.131

Р.Х. РАСУЛОВ, А.У. ТАШХОДЖАЕВ

ЗАВИСИМОСТЬ ПОРОГА СЕЙСМОПРОСАДОЧНОСТИ ОТ ПРОЧНОСТИ ГРУНТА

Как известно, возникновение сейсмопросадочной деформации вследствие нарушения структурной прочности увлажненной лёссовой толщи при динамическом воздействии происходит далеко не во всех случаях и с разной степенью интенсивности. Можно полагать, что значительную роль при этом играет интенсивность самого динамического воздействия. С другой стороны, немаловажное значение может иметь также природная прочность, обусловленная состоянием плотности и влажности колеблющегося грунта [1, 2].

Бесспорным также является то, что степень нарушения структуры увлажненных лёссовых грунтов при колебании, а отсюда их сейсмопросадочная деформация определяются воздействием лишь некоторой части приложенной к ним динамической (сейсмической) нагрузки. Она оценивается по величине максимального сейсмического ускорения, свойственного возникающему при этом колебанию (α_c).

Обозначив активно действующую часть ускорений колебаний через α_p , можем записать

$$\alpha_p = \alpha_c - \alpha_{lim}, \quad (1)$$

где α_{lim} – порог сейсмопросадочности как некоторое предельное ускорение, которое погашается внутри грунтовой толщи силами действующих в ней сопротивлений и в первую очередь, как показал анализ результатов исследований, силами сцепления (c_w) и внутреннего трения (ψ_w).

При этом условии порог сейсмопросадочности может рассматриваться как критерий устойчивости грунта при сотрясении, при котором структура грунта не нарушается и грунт сохраняет свою статическую прочность.

Следовательно, при всех значениях сейсмических ускорений меньше α_{lim} сопротивление сдвигу (прочность) увлажненного лёссового грунта определяется по выражению [1]

$$S = \sigma_d \cdot tg\varphi_w + c_w, \quad (2)$$

где σ_d – динамическое нормальное напряжение от веса грунта, лежащего выше рассматриваемого горизонта и веса сооружений; φ_w – угол внутреннего трения при влажности w ; c_w – общее сцепление при влажности грунта w .

Очевидно, чем выше величина порога сейсмопросадочности α_{lim} , тем меньшим по величине оказывается ускорение α_p , вызывающее деформацию грунтовой толщ.

Порог сейсмопросадочности функционально связан с прочностными характеристиками грунтов в виде

$$\alpha_{lim} = \xi(\sigma_d \operatorname{tg} \varphi_w + c_w), \quad (3)$$

где ξ – параметр, связанный со свойством и состоянием грунта, а также характером динамического режима.

В соответствии с выражением (3) величина порога сейсмопросадочности α_{lim} в процессе колебаний может изменяться за счет частичного либо полного снижения параметров прочности грунта, таких как угол внутреннего трения (φ_w) и сцепление (c_w), а также величины нормального напряжения (σ), действующего на рассматриваемом горизонте.

Таким образом, раскрытие природы нарушения структурной прочности лёссовых грунтов сводится к выявлению изменяющихся в динамических условиях параметров сопротивляемости (прочности) их сдвигу.

Лабораторные исследования выполнены на специально отобранных образцах лёссовых пород, которые в пределах глубины 12 м характеризовались небольшим разбросом значений основных показателей физического состояния грунта.

Порог сейсмопросадочности α_{lim} определялся на виброкомпрессионном приборе. Диапазон нагрузки на образцы принят в пределах от 0 до $30.0 \cdot 10^5$ Па, а ускорение колебательного движения – от 500 до 4000 мм/с^2 .

Согласно выражению (3), величина порога сейсмопросадочности (α_{lim}) зависит от прочностных характеристик грунта (угла внутреннего трения и сцепления), нормального напряжения (как от собственного веса перекрывающего горизонта, так и веса пригрузки от сооружения).

Следует отметить, что неустойчивая структура лёссовых грунтов обусловлена характерной для этих грунтов слабой связностью структурных элементов. Их прочность зависит от состава и водостойкости агрегирующего вещества. Способность расслабления и разрушения при вибрации природного цементирующего вещества, создающего сцепление между частицами грунта, определяет полностью или в значительной степени характер связей. Характер сцепления лёссовых грунтов выражается физико-химической природой связей, их водостойкостью и механической прочностью.

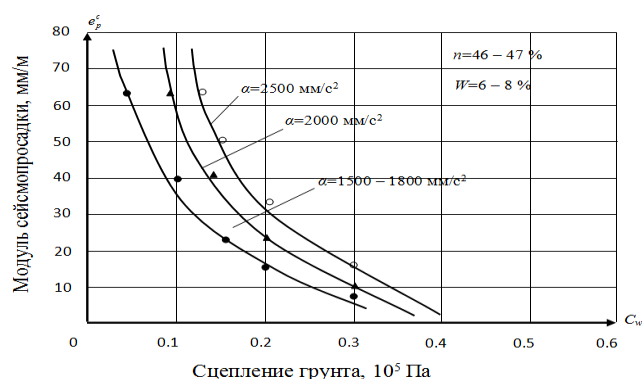


Рис. 1. График вида $e_p^c = f(c_w)$ для увлажненных лёссов

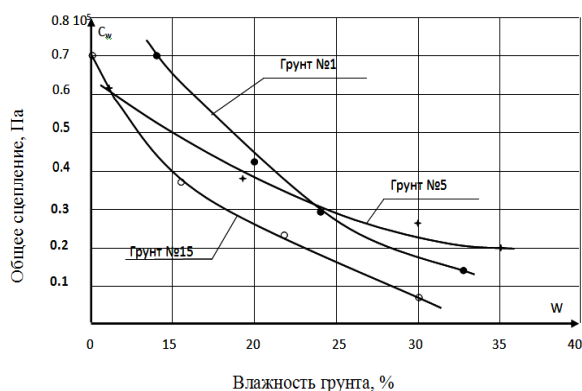


Рис. 2. Снижение связности лёссовых грунтов с увеличением их влажности

В природе могут быть случаи, когда в различных зонах массива грунта силы сцепления между частицами обуславливаются различными по прочности цементами. В таких случаях, очевидно, деформация частиц будет неодинакова в различных местах, и структура грунта сохранится там, где силы сцепления наиболее прочные и обусловлены более жесткими цементами.

На рис. 1 приведены результаты вибрационных испытаний лёссового грунта. Грунт практически одинакового состояния до начала эксперимента подвергался предварительному замачиванию в течение от 3 до 8 суток. При этом сила сцепления грунта снижалась до величины $0.5 \cdot 10^5$ Па и пористость составляла от 49.0 до 44.4 %. Затем образцы последовательно подверглись вибрации с ускорением 2500 мм/с^2 .

Результаты такого рода опытов позволили установить существенную зависимость сейсмопросадочной деформации лёссового грунта от величины силы сцепления (рис. 2).

Такой характер зависимости особенно усматривается при колебании сильно увлажненных (водонасыщенных) лёссов, прочность которых обуславливается лишь мягкими силами связности (c_w), имеющими водно-коллоидный характер. В данных разновидностях лёссов практически отсутствуют силы внутреннего трения (φ_w) и жесткие структурные связи (c_c). Отсюда прочность пластичных лёссов представляется в виде

$$S_{пл} = c_w. \quad (4)$$

Согласно исследованиям, эти разновидности лёссов способны к сейсмопросадочной деформации при самых незначительных сейсмических воздействиях, так как они характеризуются небольшими значениями порога сейсмопросадочности α_{lim} (рис. 3).

В отличие от пластичных лёссов малоувлажненные их разновидности характеризуются наличием в их прочности внутреннего трения (φ_w) и связности (c_c), а иногда в весьма слабой форме и структурного сцепления (c_c).

Тогда их прочность представляется в виде

$$S_{pw}(t) = \sigma_{дин} tg \varphi_w + c_w(t) + c_c. \quad (5)$$

Для нарушения структуры малоувлажненных грунтов и проявления у них сейсмопросадочной деформации требуется несколько большее ускорение и длительность колебания благодаря их повышенной прочности. Однако в данном случае решающими оказываются: величины связностей (c_w , c_c) и интенсивность динамического воздействия. Вместе с тем, природная влажность грунта также играет существенную роль, повышение которой всегда связано со снижением значения связности, что влечет за собой уменьшение свойственной этим грунтам величины порога сейсмопросадочности α_{lim} .

В заключение следует отметить, что в рассматриваемом плане весь вопрос сводится к установлению связности грунта, прочность которой при всех условиях определяет порог сейсмопросадочности. По этой причине многие глинистые грунты могут оказаться сейсмоустойчивыми, если они обладают достаточно прочными силами связности. Длительность одной или нескольких фаз землетрясения в этих случаях окажется недостаточной для нарушения их связей.

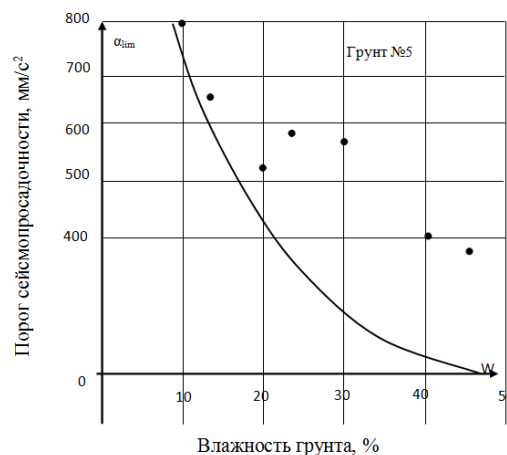


Рис. 3. Характер изменения порога сейсмопросадочности для пластичного лёссового грунта

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Маслов Н. Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. М.: Энергия, 1961. – 328 с.
- [2] Расулов Х. З. Сейсмостойкость лёссовых оснований зданий и сооружений. Ташкент: Узбекистан, 1977.–163 с.

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Дата поступления
12.03.2015

Р.Х. Расулов, А.У. Таишходжаев. Грунтнинг сейсмик таъсирда чўкиши билан унинг мустаҳкамлиги орасидаги боғлиқлиги

Мақола грунтнинг сейсмик таъсирда чўкиши қобилияти билан унинг мустаҳкамлиги орасида боғлиқликни ўрганишга оид тадқиқот изланишларга бағишланган. Сейсмик жараёнда грунтнинг чўкиши қобилияти зарралар аро юмшоқ боғланиш кучинининг миқдорига боғлиқ эканлиги таъкидланади.

УДК 532.5

Ф.Х. НИШОНОВ, С.И. ХУДАЙКУЛОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

Основным вопросом при гидравлическом ударе является исследование закона изменения давления и импульса в нагнетательном трубопроводе с мембраной. Изменение давления находится в непосредственной связи с изменением скорости жидкости в нагнетательном трубопроводе. В связи с этим в первую очередь необходимо выяснить действительный характер изменения скорости и импульса.

Основная схема физического процесса 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 $V_H = \sqrt{2gH}$ [1].

С дополнительным изменением давлений напор во всех сечениях нагнетательного трубопровода мгновенно меняется и удар распространяется как упругая волна с большой скоростью к мембране и в нагнетательном трубопроводе создаётся перепад давления Δp , который определяется в виде разницы давлений [2]:

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

где V – средняя скорость потока, $V = ui + \mathcal{J}j$; α – коэффициент кинетической энергии, или коэффициент Кориолиса. Скорость мгновенного удара во всех точках поперечного сечения равна средней скорости ($u=V$) и при $\alpha \approx 1.04$ определяется по интегральному соотношению [2]:

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

Таким образом, будем иметь следующее равенство для определения разниц давления Δp :

$$\Delta p = \alpha \rho \frac{V_H^2}{2} = \alpha \rho \frac{2gH}{2} = \alpha \gamma H, \quad (1)$$

где γ – удельный вес жидкости.

Из-за внезапного удара в нагнетательном трубопроводе диаметром D_0 происходит гидравлический удар о сеточную мембрану с диаметром щели d_0 . Вследствие гидравлического удара в нагнетательном трубопроводе возникает напорное истечение из щели мембраны. Как отмечалось, мгновенный удар сопровождается возникновением напорного импульса I_0^* в трубопроводе [2]:

$$I_0 = P_0 + \gamma H.$$

Значение импульса потока определяется на основе использования уравнения Навье - Стокса для несжимаемой вязкой жидкости, т.е. для гидравлических жидкостей. При этом предполагается, что трубопровод, в котором происходит гидравлический удар расположен горизонтально. Тогда уравнение количества движений вязкой жидкости примет вид

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \mathcal{J} \frac{\partial u}{\partial r} = - \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u.$$

Уравнение неразрывности жидкости можно записать в виде

$$\frac{\partial(u\rho r)}{\partial x} + \frac{\partial(\vartheta\rho r)}{\partial r} = 0. \quad (2)$$

Предположим, что труба круглая осесимметричная. Тогда имеем следующие начальные и граничные условия:

$$u(R_0) = 0, \left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \\ \vartheta(0) = 0, \vartheta(R_0) = 0.$$

Уравнение количества движения с учетом уравнения неразрывности (2) можно привести в виде [3]

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2) + \frac{\partial(\rho u \vartheta)}{\partial r} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u. \quad (3)$$

Для получения уравнения, усредненного по толщине круглой трубы, умножим уравнение на $rdrd\theta$ и проинтегрируем по r и θ от 0 до 2π , а внутренний интеграл от 0 до R_0 и тогда будем иметь следующее интегральное равенство для уравнения вязкой жидкости [3, 4]:

$$\int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{R_0} r dr \left[\frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2) + \frac{\partial(\rho u \vartheta)}{\partial r} \right] = - \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{R_0} \frac{\partial p}{\partial x} r dr + \gamma \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{R_0} r \nabla^2 u dr \quad (4)$$

Отсюда получим равенство для импульса потока во внутренней части до гидравлического удара:

$$2\pi \frac{d}{dx} \int_0^{R_0} (\rho u^2 + p) r dr = \gamma \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_0^{R_0}. \quad (5)$$

Как известно, импульс потока, т.е. внутренний интеграл формулы (4), является неизменным:

$$2\pi \left[\int_0^{R_0} \rho u^2 r dr + p \frac{R_0^2}{2} \right] = \text{const}.$$

Предположим, что в ударном трубопроводе потеря напора незаметна, т.е.

$$|p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}| \ll 1.$$

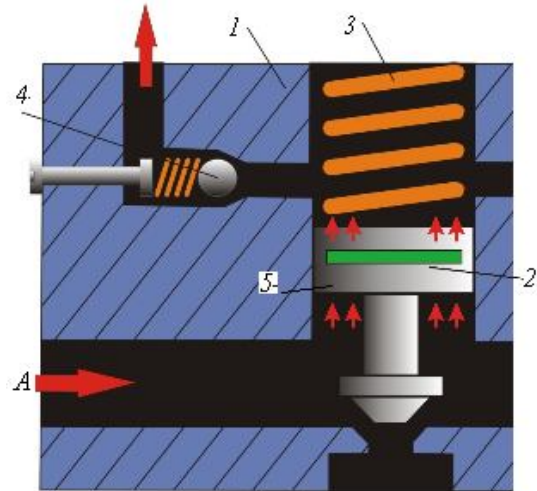
Как известно, первый интеграл выражения (5) определяет импульс потока, тогда будем иметь выражение для импульса потока в следующем виде:

$$I_0 = 2\pi \int_0^{R_0} \rho u^2 r dr = \text{const}.$$

Согласно формуле Пуазейля, расход жидкости определяется через перепад давлений, возникавший в момент удара резким изменением давления (рисунок)

$$Q = 2\pi \frac{\Delta p R_0^4}{16\mu L}, \quad (6)$$

где $R_0 = \frac{D_0}{2}$ – начальной радиус внешней части трубопровода. При помощи формулы определим импульс потока в ударном трубопроводе (5), (6):



Работа перепускного клапана при гидравлическом ударе:
A – нагнетательный канал; C – сливной канал; 1 – корпус;
2 – перепускной клапан; 3 – пружина;
4 – предохранительный клапан; 5 – мембрана

$$\begin{aligned}
I_0 &= \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{R_0} r u^2 \rho dr = 2\pi \int_0^{R_0} \rho \left(\frac{\Delta p}{4\mu L} \right)^2 [R_0^4 - r^2]^2 r dr = 2\pi \rho \left(\frac{\Delta p}{4\mu L} \right)^2 \int_0^{R_0} [R_0^4 - 2R_0^2 r^2 + r^4] r dr = \\
&= 2\pi \rho \left(\frac{\Delta p}{4\mu L} \right)^2 \int_0^{R_0} [R_0^4 r - 2R_0^2 r^3 + r^5] dr = 2\pi \rho \left(\frac{\Delta p}{4\mu L} \right)^2 \left[\frac{R_0^6}{2} - 2 \frac{R_0^6}{4} + \frac{R_0^6}{6} \right] = 2\pi \rho \left(\frac{\Delta p}{4\mu L} \right)^2 \frac{R_0^6}{6} = \\
&= \rho \left(\frac{\Delta p R_0^4}{16\mu L} 2\pi \right)^2 \frac{16}{6} \frac{1}{2\pi} \frac{1}{R_0^2}.
\end{aligned}$$

Для импульса потока имеем выражение

$$I_0 = \rho \frac{4}{3\pi} \frac{1}{R_0^2} Q, \quad (7)$$

где Q – расход жидкости, т.е. объем рабочей жидкости, протекающей через поперечное сечение ударной трубы, который определяется из уравнения (5). Из условия неразрывности имеем формулу

$$Q = \omega V = \pi R_0^2 V,$$

где R_0 – радиус поперечного сечения трубы. Сопоставлением равенств (5) и формулы (7) находим скорость потока, а для импульса потока имеем следующее выражение:

$$I_0 = \frac{4}{3\pi} \frac{1}{R_0^2} \rho [\pi R_0^2 V] = \frac{4\pi}{3} \rho R_0^2 V^2. \quad (8)$$

Из гидравлики известно, что максимальная скорость течения жидкости достигается при $r=0$, т.е. на оси трубы, а средняя скорость определяется через максимальную скорость [1 – 3]:

$$2V_{cp} = V_{max} \text{ или } V = \frac{V_{max}}{2}. \quad (9)$$

Учитывая формулу (9), выражение для импульса потока напомним в виде

$$I_0 = \frac{\pi}{3g} \gamma R_0^2 V_0^2 = 0.10680272 \cdot 1 \cdot \gamma \cdot R_0^2 V_0^2.$$

Для гидравлических жидкостей $\gamma=900$, а поток, ударяясь равномерно о мембрану, приобретает импульс, равный

$$I_{01} = k I_0,$$

где k – коэффициент восстановления. Удар неупругий и за коэффициент восстановления примем $k=0.8$ [3], кроме того, если конец трубы наклонен под углом $\beta\pi$ к оси симметрии трубы, то импульс потока определяется равенством

$$I_0 = -K \sin \beta\pi \cdot I_{01}.$$

После удара будет обратный поток с импульсом

$$I_{01} = K \sin \beta\pi \cdot I_0. \quad (10)$$

Кроме того, в нагнетательном трубопроводе происходит соударение двух потоков – набегающего с импульсом I_0 и обратного потока. Вследствие этого процесса происходит изменение диаметра и на измененный диаметр d_0^* набегают поток с импульсом

$$I_0^* = (I_0 + I_{01}) \cdot \frac{1}{1 + K_1}.$$

В процессе этого происходит соударение двух деформируемых эластических жидких сред. Удар будет считаться упругим, поэтому коэффициент восстановления $k=1$. При этом получим

$$I_0^* = \frac{1}{2}[I_0 + I_{01}] = \frac{I_0}{2}[1 + K \sin \beta\pi].$$

За счет сжатия потока происходит потеря напора, откуда получаем окончательную формулу для импульса протекающего потока через мембрану (см. рисунок) и при открывающемся перепускном клапане имеем [1, 5, 6]

$$I_0 = k_c I_0^*, \quad (11)$$

где k_c – коэффициент сжатия, равный

$$k_c = \frac{\pi}{\pi + 2} \approx 0.611.$$

Учитывая равенство (11), получим выражение для импульса потока

$$I_0 = \frac{\pi}{\pi + 2} \cdot \frac{1 + K \sin \beta\pi}{2} \cdot 26.70068 \cdot D_0^2 \cdot V_0^2 = 8.157058(1 + K \sin \beta\pi) D_0^2 V_0^2.$$

Перепад давления при открытии перепускного клапана будет равен

$$\Delta p = \frac{4I_0^*}{\pi d_0^{*2}} = \frac{10.3911}{d_0^{*2}} \cdot V_0^2 D_0^2 \cdot (1 + K \sin \beta\pi). \quad (12)$$

В таблице приведены значения зависимости перепада давления от напора потока гидравлической жидкости при $\alpha \cong 1.04$ по формуле (1).

Значения зависимости перепада давления от напора потока гидравлической жидкости

Н, м	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
атм	1.04	1.56	2.08	2.6	3.1	3.64	4.16	4.68	5.2	5.72	6.24
Δp	9.1728	13.759	18.345	22.932	27.184	32.104	36.691	41.2776	45.864	50.4504	55.037

Учитывая равенство (12), получим зависимость диаметра мембраны d^* от диаметра ударной трубы D_0 . Здесь β – угол наклона стенки трубы. Соотношение диаметра нагнетательного трубопровода и мембраны определяется как

$$\frac{d_0^*}{D_0} = \sqrt{\frac{10.3911}{1.04} (1 + k \sin \beta\pi)} \frac{V_0}{\sqrt{\rho g H}}. \quad (13)$$

При $H=10$ равенство (13) примет вид

$$\frac{d_0^*}{D_0} = 0.03161 \sqrt{\frac{1 + k \sin \beta\pi}{h}} V_0 \frac{V_0}{\sqrt{10\gamma}}. \quad (14)$$

Пусть коэффициент восстановления будет равен $k=0.8$. Исследуем поведение ударной волны для двух значений угла наклона β : $\beta = 45^\circ$ и $\beta = 30^\circ$, тогда для равенства (14) получим следующее соотношение диаметров трубы и мембраны:

при $\beta = 30^\circ$, $\frac{d_0^*}{D_0} = 0.0374 \frac{V_0}{\sqrt{h}}$, а при $\beta = 45^\circ$, $\frac{d_0^*}{D_0} = 0.03955 \frac{V_0}{\sqrt{h}}$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аронович Г. В. Гидравлический удар и уравнительные резервуары. М.: Наука, 1968. – 248 с.
- [2] Киселев П. Г. Гидравлика и основы механики жидкости. М.: Энергия, 1980. – 360 с.
- [3] Овсепян В. П. Гидравлический таран и таранные установки. М.: Машиностроение, 1968. – 123 с.
- [4] Рахматулин Х. А. Газовая волновая динамика. М.: МГУ, 1962.
- [5] Сурин А. А. Гидравлические удары в водопроводах и борьба с ними. М., 1946. – 372 с.

[6] Хамидов А.А., Худайкулов С.И. Теория струй многофазной вязкой жидкости. Ташкент: Фан, 2005. – 120 с.

НИИ ирригации и водных проблем при ТИИМ

Дата поступления
25.03.2015

Ф.Х. Нишоннов, С.И. Худайкулов. Суюқликнинг қувурдаги зарба импульсини моделилаштириш
Тарқатувчи қувурдаги зарба импульси аниқланиб, зарба импульси қонуниятлари ўрганилади.

F.H. Nishonov, S.I. Hudaykulov. Simulation of the shock pulse in the fluid conduit
We consider the problem of impact impulse liquid in the discharge channel distributor and studied patterns of impact pulses.

УЎК 532.543:627.4

М.Т. САЙИДОВ, Х.А. ИСМАГИЛОВ

ТУЯМЎЙИН СУВ ОМБОРИ ВА УНИНГ ДАРҒОН-ОТА ҚИСМИДА ЎЗАН ДЕФОРМАЦИЯСИ ҲИСОБИ

Туямўйин сув омбори 1982 йилда Амударё ўзанининг қуйи қисмида қурилган. Сув омбори тўғонидан юқорига 80 км масофа бу сув омбори косаси ва ундан олдинги 100 км эса оқимнинг сув омборига кириши, босим ҳосил бўлиш ҳудуди ҳисобланади [1]. Ҳозирги кунда сув омборида ўзан тубининг кўмилиши йилдан йилга ортиб бормокда. Сув омбори босимли ўзан қисмида ўзаннинг деформациясини ўрганиш муҳим аҳамиятга эга бўлиб, ушбу асосда ўзанда оқим сарфининг беҳатар ўтказишга ва унинг хавфсизлигини таъминлашга сабаб бўлади. Бунда босимли ўзан қисмида оқимнинг лойқалигини ўрганиш ва унинг ҳисобини бажариш орқали сув омборига кириб келаётган оқизикларнинг миқдори, ушбу ҳудудларда ўзаннинг ювилиши ҳамда ўзан тубининг кўмилишини тадқиқ қилинади.

Ўзан тубининг кўтарилишини баҳолашда кўп йиллик тегишли маълумотлар асосида ўзан деформациясининг ҳисоби усуллари ўрганилди.

Туямўйин сув омбори тўғонидан 160 км юқорида жойлашган Дарғон-ота сув ўлчаш нуктаси гидрологик маълумотларидан ва Туямўйин сув омбори тўғонининг 1991 йил учун кунлик сув сатҳи белгисидан (отметка) фойдаланиб ҳисоблар бажарилди (1-расм). Бундан ташқари Дарғон-ота сув ўлчаш нуктаси учун 1981 йилдан 1988 йилгача тегишли 8 йиллик маълумотлари асосида оқимдаги муаллақ оқизикларнинг гранулометриқ таркиби ўрганилди (2, 3-расм).

Оқимдаги лойқаликнинг узунлик бўйича ўзгариши ҳисоби қуйидаги формула орқали амалга оширилади [3].

1. Ўзаннинг эркин кесим юзасида оқимдаги лойқаликнинг ўзгариши учун;

$$S_x = S_o \exp \left[- \left(\frac{W}{V} - i_H \right) \frac{L}{H_H} \right]. \quad (1)$$

2. Ўзаннинг босимли кесим юзасида оқимдаги лойқаликнинг ўзгариши учун;

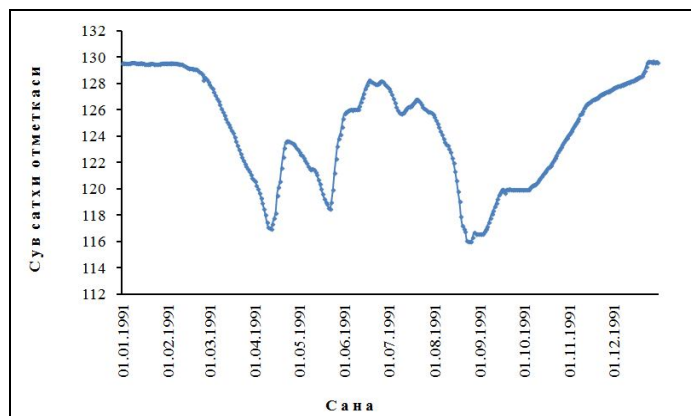
$$S_x = S_o \exp \left[- \frac{L}{H_K - H_H} \ln \frac{LH_H + (H_K - H_H)L}{LH_H} \left(\frac{W}{V} - i_H \right) + \right. \\ \left. + (i_H - i_K) \left(\frac{L}{H_K - H_H} - \frac{LH_H}{(H_K - H_H)^2} \ln \frac{LH_H + (H_K - H_H)L}{LH_H} \right) \right], \quad (2)$$

бунда S_o , S_x – ўзаннинг белгиланган бошланғич ва охириги кесим юзасидаги оқим лойқалиги; H_H , H_K – ўзаннинг белгиланган бошланғич ва охириги кесим юзасидаги оқимнинг чуқурлиги, м; L – ўзаннинг белгиланган бўйлама кесим узунлиги, м; W – оқизикларнинг гидравлик йириклиги, м/с;

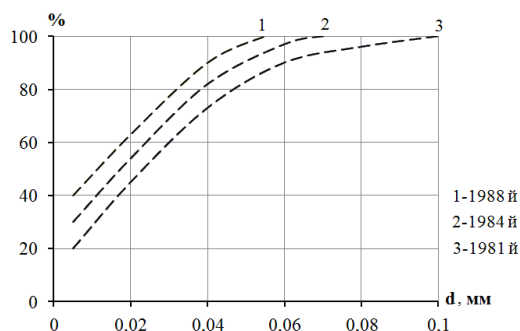
V – оқим тезлиги, м/с; I_H , I_K – ўзанининг белгиланган бошланғич ва охири кесим юзасидаги сув сатҳи нишаблиги.

Сув омборида бўйлама узунлик бўйича $L=70$ км масофада ва Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасининг S_0 , H_H , V , I_H кўрсаткичлари қийматларидан фойдаланиб ҳисобланди.

$H_K = H_H + \Delta H$; $i_K = i_H - \Delta H/L$; $\Delta H=1.0$ – оқимнинг қўшимча босими. Дарғон-ота сув ўлчаш нуктаси учун оқизикларнинг гранулометрик таркиби асосида оқизикларнинг гидравлик йириклиги (W) қиймати таҳлил қилинди (2, 3-расм). 1981 йилда ўзанда оқим табиий шароитида, 1982 йилдан 1988 йиллар орасида эса ўзанда оқим бошқарилган шароитида шаклланади. Табиий шароитда оқимдаги ўртача муаллақ оқизикларнинг диаметри ойлар бўйича 0.006 дан 0.03 мм гача кузатилади. Йиллик ўртача диаметри эса 0.02 мм га тенг (3-расм). Сув омбори ишга тушишининг дастлабки йилида муаллақ оқизикларнинг йириклиги камайган.



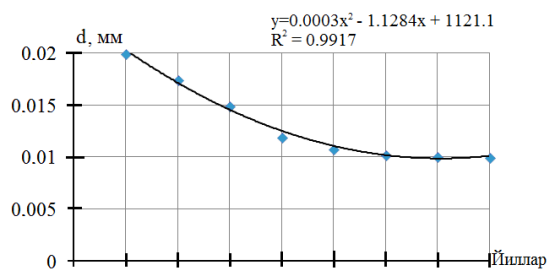
1-расм. Туямўйин сув омбори тўғонининг 1991 й. учун сув сатҳи белгиси (отметка)



2-расм. Дарғон-ота сув ўлчаш нуктаси учун муаллақ оқизиклар гранулометрик таркибининг эгри чизикли ўзгариши

Ўрганилган маълумотлар асосида олинган 3-расмга асосан 1981 йил учун муаллақ оқизикларнинг ўртача диаметри 0.02 мм га ва 1984 йилгача камайган ҳолда 0.012 мм га тенг бўлган. 1984 йилда муаллақ оқизикларнинг ўртача диаметри 1981 йилга қараганда қарийб 2 баробор нисбатда камайган. Охири 1985, 1986, 1987, 1988 йилларда деярли ўзгармаган ҳолда ўртача йиллик муаллақ оқизикларнинг диаметри 0.01 мм ташкил этади.

Муаллақ оқизиклар ўртача диаметрининг ($d_{\text{ўр}}$) ва унинг (W) гидравлик йириклигига нисбатан ифодаланиши 1-жадвалда келтирилади.



3-расм. Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасида муаллақ оқизикларнинг ўртача диаметри ўзгариши

1-жадвал

Оқизикларнинг гидравлик йириклиги (W) ва унинг турли диаметрли ($d_{\text{ўр}}$) қийматлари орасидаги боғланиш [2]

$(d_{\text{ўр}})$, мм	0.050	0.040	0.030	0.020	0.010	0.005
w , м/с	0.00195	0.00125	0.00070	0.00031	0.000078	0.00002

Муаллақ оқизикларнинг гранулометрик таркиби ойда бир марта текширилади ва шунга асосан оқизикнинг гидравлик йириклиги қабул қилинади.

Сув ўлчаш нуктасида оқимнинг гидравлик кўрсаткичлари ойда 10, 12 марта ўлчанади. Оқизикларнинг гранулометрик таркибидан ойда бир марта намуна олиниб ва оқизикларнинг гидравлик йириклиги ҳар бир ўлчанган оқимнинг гидравлик кўрсаткичлари ва сарфига мос ҳолда таҳлил қилинади.

Маълумотлар таҳлили натижасида сув омборининг қуйилиш босимли қисмида сув сатҳи нишаблиги 0.00005 қийматидан 0.0003 гача ўзгаради (2-жадвал, 8-устун). Олинган маълумотларга

асосан муаллақ оқизикларнинг гидравлик йириклиги ўзгариши 0.00002 дан 0.0003 м/с ни ташкил қилади. Оқизикларнинг гидравлик йириклиги қийматини сув сатҳи нишаблигига мос қабул қилинади $W=i$.

Оқим лойқалигининг ўзгариши ҳисобини бажаришда бир ойдаги ўлчанган 10, 12 марта сув сарфи олинади кейин унинг ойлик ўртача қиймати қабул қилинади.

Ҳисобнинг натижалари 2 жадвалда келтирилди. Ҳисобий натижалар шуни кўрсатадики январь, февраль ва март ойларида сув омбори босимли қисмида оқизикларнинг чўкиши кузатилади. Яна ушбу ойларида 1-расмга асосан сув сатҳининг энг катта қиймати кузатилиб оқимнинг босимли ҳолати юзага келади [4].

2 жадвалдаги ҳисоб куйидагича бажарилган.

2-устун белгиланган йил учун ойлар кетма кетлиги. 3-устун оқим лойқалигини ўргангандан кейин аниқланган ўзандаги оқимнинг ҳолати, 4-устун ҳар бир ой бўйича оқим сарфининг ўртача қиймати, 5-устун Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасидан белгиланган масофа, 6, 7-устун Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасидаги ва ундан кейинги охири кесимдаги оқим чуқурлиги, 8, 9 - устун Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасидаги ва ундан кейинги охири кесимдаги сув сатҳи нишаблиги, 10 - устун Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасидаги оқизикларнинг гидравлик йириклиги, 11 - устун Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасидаги оқимнинг ўртача тезлиги, 12 - устун Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасидаги оқимнинг лойқалиги. Юқорида келтирилган устунларнинг қийматлари Дарғон-ота сув ўлчаш нуктаси учун берилган ўлчанган маълумотлардир.

13 - устун бу (1) формулага асосан Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасидан пастга 70 км масофада оқим лойқалигининг ўзгаришидир, келтирилган (1) формуланинг асосий бажарилган ҳисобидир. Асосий ҳисоб натижаси 13 - устунда келтирилган.

14, 15, 16, 17 - устунлар қўшимча тарзда сув сарфи, лойқаликнинг ўзгариши миқдори, бир ойдаги сониялар кўпайтмаси орқали бажарилган ҳисоблар ҳисобланади.

2-жадвал

1991 йил учун Туямўйин сув омбори юқори бьефи, Дарғон-ота сув ўлчаш нуктасидан сув омбори косаси томон 70 км масофада ўзан қисмида оқим лойқалигининг узунлик бўйича ва оқизикларнинг ҳажми (кириб келиши, чўкиши, ювилиши ва транзит кўринишида (млн.м³)) ўзгариши ҳисоби

№ т/р	Ойлар	Оқим ҳолати	Оқим сарфи Q , м ³ /с	Қисм узунли. L , км	Чуқурлик (м)		Нишаблик		Оқизик гидравл. йирик/ги W , м/с	Ўртача тезлик V , м/с	Лойқалик (кг/м ³)		Оқизиклар ҳажми, млн.м ³			
					H_H	H_K	I_H	I_K			S_O	S_X	Кириб келиш	Чўкиши	Ювилиши	Чикиш (транз.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	Январь	Босимли	721	70	3.3	4.3	0.00012	0.0001	0.00012	0.95	1.65	<u>1.25</u>	2.45	0.7		1.75
3	Февраль	--/--	489	70	2.2	3.2	0.00012	0.0001	0.00012	0.9	2.1	<u>1.35</u>	1.91	0.8		1.11
4	Март	--/--	356	70	1.7	2.7	0.000092	0.00007	0.00009	0.8	1.23	<u>0.40</u>	0.9	0.63		0.27
5	Апрель	Эркин	984	70	2.2	2.2	0.00008	0.00008	0.00008	1.2	2.08	<u>2.02</u>	4.1	0.08		4.02
6	Май	--/--	1792	70	2.8	2.8	0.00008	0.00008	0.00008	1.4	3.77	<u>3.79</u>	13.5		2.5	13.75
7	Июнь	--/--	2651	70	3.2	3.2	0.00006	0.00006	0.00006	1.6	4.21	<u>4.23</u>	21.51		2.5	21.76
8	Июль	--/--	2127	70	3.4	3.4	0.00007	0.00007	0.00007	1.5	1.48	<u>1.48</u>	6.49			6.49
9	Август	--/--	1597	70	3.2	3.2	0.00007	0.00007	0.00007	1.3	0.97	<u>0.97</u>	2.20			2.20
10	Сентябрь	--/--	1408	70	3.1	3.1	0.00009	0.00009	0.00009	1.2	2.93	<u>2.93</u>	8.22			8.22
11	Октябрь	--/--	946	70	2.7	2.7	0.00015	0.00015	0.00015	0.9	1.48	<u>1.21</u>	2.88	0.23		2.65
12	Ноябрь	Босимли	711	70	2.1	3.1	0.0002	0.00018	0.0002	0.9	0.8	<u>0.52</u>	1.13	0.5		0.63
13	Декабрь	--/--	987	70	2.6	3.6	0.0002	0.00018	0.0002	1.1	0.8	<u>0.8</u>	1.63			1.63
14	Йиллик												67	2.9	5	64.50

1 ва 2 формулага асосан олинган 2 жадвал, ва 1-3 графикларга асосланиб қуйидагилар тадқиқ қилинди ва изоҳланди.

Апрель ойида сув омборида сув сатҳи камайиб оқим босимли ҳолатдан эркин ҳолатга ўтади. Оқимнинг ушбу эркин ҳолати октябрь ойигача давом этади. Ушбу олти ой давомида сув омбори босимли ўзан қисмида оқизиклар чўкиши кузатилмасдан транзит кўринишда оқиб ўтади. 26 май ва 24 июлда энг катта оқим сарфи кузатилиб ўзанда қисман ювилиш кузатилади.

Октябрь ойида яна сув омборида сув сатҳи кўтарилиб оқим ҳолати эркин ҳолатдан босимли ҳолатга ўзгаради, босимли ўзан қисмида муаллақ оқизикларнинг чўкиши бошланади. Ушбу жараён декабрь ойининг охиригача кузатилади. Декабр ойида эса сув омборида сув сатҳи яна кўтарилиб боради ва оқим босимли ҳолатга ўтади, бунда оқизикларнинг ўзан тубига чўкиши кузатилмайди.

2-жадвал 13-устунида келтирилган, ўрганилган оқим лойқалигининг ўзгаришидан фойдаланиб сув омборига кириб келаётган ҳар бир ойлик оқизикларнинг ўзан тубига чўкиш миқдори, транзит кўринишда оқиб ўтиши ҳамда ўзаннын ювилиши аниқланди. Бунда 1991 йил давомида сув омбори босимли қуйилиш қисмида оқизикларнинг чўкиши миқдори 2,9 млн.м³ ни ташкил қилади [3]. Оқизикларнинг чўкиши натижасида ўзан туби кўмилиши, деформацияси юзага келади.

Хулоса қилиб, Туямўйин сув омбори ва унинг Дарғон-ота ўзан қисмида, дарё ўзанининг ўзгариши (кўмилиши, деформацияси) учун олинган натижалар асосида янги лойиҳаланадиган қирғоқ ҳимояловчи иншоотларни (шпора, дамба,) қуриш мумкин.

АДАБИЁТЛАР

- [1] Исмагилов Х. А. Селевые потоки, русловые процессы, противоселевые и противопаводковые мероприятия в Средней Азии. Ташкент, 2006. – 261 с.
- [2] Штеренлихт Д. В. Гидравлика. Уч. пос. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1984. Т. II. С. 366.
- [3] Оралик ҳисобот 2014 йил. “Ўзбекистон республикаси дарё, канал ва сув омборларида лойқали оқимда кечадиган аккумулятив жараёнларни назарий жиҳатдан такомиллаштириш” мавзусидаги // ИСМИТИ. 5 бўлим. 69 б.
- [4] Дарғон-ота сув ўлчаш нуқтаси ва Туямўйин сув омбори тўғрисида учун “Ежегодник” тегишли маълумотлари.

Тошкент ирригация ва мелиорация институти қошидаги
Ирригация ва Сув Муаммолари илмий тадқиқот институти

24.03.2015 й.
қабул қилинган

М.Т. Сайидов, Х.А. Исмагилов. Расчет деформации русла Тюямуюнского водохранилища и зоны Дарган-Ата

Статья посвящена изучению расчета деформации русла в Тюямуюнском водохранилище и зоне Дарган-Ата. Приведена новая формула для определения изменения мутности потока. Определено изменение мутности потока по рассматриваемой длине гидростата Дарган-Ата. Показано, что в основу этого изменения входят взвешенные наносы в водохранилище: транзитные наносы, отложения по дну русла и размыва. Выполнен анализ изменения отметки воды, гидравлической крупности и гранулометрического состава наносов на плотине Тюямуюн. Изучено изменение русла деформации и сформулированы выводы.

M.T. Sayidov, H.A. Ismagilov. Calculation of the deformation of the Tyuyamuyun reservoir channel and Dargan-Ata area

The paper studies the calculation of the deformation of the Tyuyamuyun reservoir channel and Dargan-Ata area. A new formula for determining the change in turbidity of the flow was shown. The change in turbidity of stream in accordance with the length of the gauging stations of Dargan-Ata was determined. The bases of this change are suspended sediments in the reservoir: transit deposits, deposits to the bottom of the riverbed and erosion. The analysis of the changes in the level of water, hydraulic size and particle size distribution of sediment in the dam Tyuyamuyun was performed. The changes in deformation of the riverbed were studied and conclusions were made.

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Проблемы упруго-пластической фильтрации жидкостей приобретают большую актуальность в связи с освоением нефтяных и газовых месторождений на значительных глубинах. В глубоких нефтяных и газовых пластах, особенно с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД), по мере их эксплуатации значительно снижается пластовое давление, что приводит к возникновению больших эффективных напряжений на пласт [1]. Это вызывает значительные деформации скелета пород пласта. Одна из особенностей деформации пласта на больших глубинах – нарушение его упругости, что сопровождается появлением пластических (необратимых) изменений характеристик пласта. Модельная схематизация упруго-пластического режима фильтрации впервые предложена в [2, 3]. Учитывая нелинейные зависимости пористости и проницаемости от давления в режимах его понижения и восстановления уравнения упруго-пластической фильтрации выведены в [1, 4]. На основе использования феноменологических подходов в [5, 6] предложены модели упруго-пластической фильтрации жидкости в неустойчивых коллекторах. Анализ результатов реализации модели показывает, что в неустойчивых коллекторах факторы необратимости деформации и неустойчивости пласта оказывают взаимообратные действия на коллекторские свойства пласта [6].

Постановка задачи. Уравнения упруго-пластической фильтрации жидкости в пористой среде, когда учитывается только линейная необратимая зависимость пористости от давления, в одномерном случае имеют вид [2, 3]

$$\downarrow \frac{\partial p}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \quad (1)$$

$$\uparrow \frac{\partial p}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \quad a_1, a_2 = \text{const} > 0, \quad (2)$$

где $\downarrow$ и $\uparrow$ соответствуют процессам понижения и восстановления давления; t – время; x – линейная координата; p – давление; a_1, a_2 – коэффициенты пьезопроводности, $a_2 \geq a_1$.

В [7, 8] исследованы широкие классы обратных задач, описываемых дифференциальными уравнениями с частными производными.

В [9] решена обратная коэффициентная задача для уравнений (1), (2) для наиболее простого случая, когда в качестве дополнительного условия задается давление в одной (или нескольких) точке пласта как в режиме понижения, так и восстановления давления. В статье рассматриваются обратные задачи на основе уравнений (1) и (2), где в качестве дополнительных условий используется градиент давления в режиме понижения и само давление в режиме восстановления давления в определенных точках пласта. Для решения задач применяется метод детерминированных моментов [10].

Пусть для уравнений (1), (2) заданы начальные и граничные условия в виде

$$\downarrow p(x, 0) = p_0, \quad \downarrow p(0, t) = p_c, \quad \downarrow p(L, t) = p_0, \quad p_0, p_c = \text{const}, \quad (3)$$

$$\uparrow p(x, 0) = p_1(x), \quad \uparrow \left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \uparrow p(L, t) = p_0, \quad (4)$$

где $p_1(x)$ – распределение давления в конце фазы понижения. В (4) (вообще для режима восстановления давления) в качестве начала отсчета времени принимается $t=0$, что в реальном масштабе соответствует концу фазы понижения давления. Как отмечалось, кроме обычного начального и граничных условий, для уравнения (1) рассматривается еще и дополнительное условие

$$v(0, t) = - \frac{k}{\mu} \left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{x=0} = z_1(t), \quad (5)$$

где k – проницаемость пласта; μ – вязкость жидкости; $v(0,t)$ – скорость фильтрации в точке $x=0$, а для уравнения (4), кроме обычных условий, задается дополнительное условие

$$p(0,t) = z_2(t), \quad (6)$$

где $z_1(t)$, $z_2(t)$ – заданные функции.

Решение задачи. Для решения поставленной задачи применяем метод детерминированных моментов [10].

В конечном пласте $[0, L]$ рассмотрим уравнения (1), (2) соответственно в режиме понижения и восстановления давления с начальными и граничными условиями (3), (4) и еще дополнительными условиями (5), (6). Задача заключается в определении параметров a_1 , k и a_2 . Сначала рассмотрим уравнение (1) с условиями (3), (5) и определим параметры a_1 , k .

В (1), (3), (5) переходим к изображению по Лапласу

$$\frac{d^2 \bar{p}}{dx^2} - \frac{s}{a_1} \bar{p} = -\frac{p_0}{a_1}, \quad (7)$$

$$\bar{p}(0,s) = \frac{p_c}{s}, \quad \bar{p}(L,s) = \frac{p_0}{s}, \quad (8)$$

$$\bar{v}(0,s) = -\frac{k}{\mu} \frac{d\bar{p}}{dx} \Big|_{x=0} = \bar{z}_1(s), \quad (9)$$

где s – параметр преобразования Лапласа; $\bar{p}$, $\bar{v}$, $\bar{z}_1$ – преобразование функций p , v , z_1 , соответственно.

Решение уравнения (7) с условиями (8) имеет вид

$$\bar{p}(x,s) = \frac{(p_c - p_0) \operatorname{sh}[(L-x)b_1] + p_0 \operatorname{sh}(b_1 L)}{s \operatorname{sh}(b_1 L)}, \quad b_1 = \sqrt{\frac{s}{a_1}}. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), получим

$$\bar{v}(0,s) = \bar{z}_1(s) = \frac{k}{\mu} \frac{(p_0 - p_c) b_1 \operatorname{ch}(L b_1)}{s \operatorname{sh}(L b_1)}. \quad (11)$$

Введем обозначение $\Delta \bar{z}_1(t) = \bar{z}_1(t) - v_{st}$, что для изображений дает

$$\Delta \bar{z}_1(s) = \bar{z}_1(s) - \frac{v_{st}}{s}, \quad (12)$$

где v_{st} – стационарное значение v .

Подставляя (11) в (12), получим

$$\frac{v_{st}}{s} + \Delta \bar{z}_1(s) = \frac{k}{\mu} \frac{(p_0 - p_c) b_1 \operatorname{ch}(L b_1)}{s \operatorname{sh}(L b_1)}. \quad (13)$$

Каждый член (13) разложим в ряд по степеням s . Воспользуясь разложениями в ряд функций $\operatorname{sh} x$, $\operatorname{ch} x$, а также

$$\Delta \bar{z}_1(s) = \Delta z_{10} - s \Delta z_{11} + \frac{s^2}{2} \Delta z_{12} - \dots, \quad \Delta z_{1i} = \int_0^\infty t^i \Delta z_1(t) dt, \quad i = 0, 1, \dots,$$

получим

$$\mu \left(L + \frac{L^3}{3!} b_1^2 + \frac{L^5}{5!} b_1^4 + \dots \right) (v_{st} + s \Delta z_{10} - s^2 \Delta z_{11} + \dots) = k(p_0 - p_c) \left(1 + \frac{L^2 b_1^2}{2!} + \frac{L^4 b_1^4}{4!} + \dots \right). \quad (14)$$

Приравнивая коэффициенты при 1, s , s^2 в (14) получаем следующие формулы для определения v_{st} , a_1 , k :

$$v_{st} = \frac{k}{\mu} \frac{p_0 - p_c}{L}, \quad k = \frac{\mu L (\Delta z_{10})^2}{5(p_0 - p_c) \Delta z_{11}}, \quad a_1 = \frac{L^2}{15} \frac{\Delta z_{10}}{\Delta z_{11}}. \quad (15)$$

Первая из формул (15) представляет собой известный результат, получаемый из закона Дарси.

Теперь рассмотрим уравнение (2) с условиями (4), (6) и определим параметр a_2 . Применяя преобразование к (2), (4), (6), получим

$$\frac{d^2 \bar{p}}{dx^2} - \frac{s}{a_2} \bar{p} = -\frac{p_1(x)}{a_2}, \quad (16)$$

$$\left. \frac{d\bar{p}}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad \bar{p}(L, s) = \frac{p_0}{s}, \quad (17)$$

$$\bar{p}(0, s) = \bar{z}_2(s). \quad (18)$$

Решение уравнения (16) с условиями (17) имеет вид

$$\begin{aligned} \bar{p}(x, s) = & -\frac{1}{2b_3} \left[e^{b_2 x} \int_0^x e^{-b_2 u} p_1(u) du - e^{-b_2 x} \int_0^x e^{b_2 u} p_1(u) du \right] + \\ & + \frac{ch(b_2 x)}{ch(b_2 L)} \left\{ \frac{1}{2b_3} \left[e^{b_2 L} \int_0^L e^{-b_2 u} p_1(u) du - e^{-b_2 L} \int_0^L e^{b_2 u} p_1(u) du \right] + \frac{p_0}{s} \right\}, \end{aligned} \quad (19)$$

где $b_2 = \sqrt{s/a_2}$, $b_3 = \sqrt{a_2 s}$.

Подставляя решение (19) в точке $x = 0$ в (18), имеем

$$\frac{p_0}{s} - \Delta \bar{z}_2(s) = \frac{1}{ch(b_2 L)} \left\{ \frac{1}{2b_3} \left[e^{b_2 L} \int_0^L e^{-b_2 u} p_1(u) du - e^{-b_2 L} \int_0^L e^{b_2 u} p_1(u) du \right] + \frac{p_0}{s} \right\}. \quad (20)$$

Как и выше, каждый член (20) разлагая в ряд по степеням s , получим

$$a_2 \left(1 + \frac{b_2^2 L^2}{2} + \dots \right) (p_0 - s \Delta z_{20} + \dots) = s \left(L \int_0^L p_1(u) du - \int_0^L u p_1(u) du + \dots \right) + a_2 p_0, \quad (21)$$

где $\Delta z_{2i} = \int_0^\infty t^i \Delta z_2(t) dt$, $i = 0, 1, \dots$

Приравнивая коэффициенты при s в (21), получаем формулу для определения a_2 :

$$a_2 = \frac{1}{\Delta z_{20}} \left[\frac{L^2 p_0}{2} - \int_0^L (L - u) p_1(u) du \right], \quad (22)$$

где $\Delta z_{20} = \int_0^\infty \Delta z_2(t) dt = \int_0^\infty (p_0 - z_2(t)) dt$.

Результаты расчетов. Для определения численных значений k , a_1 по (15) сначала численно решаем уравнение (1) с условиями (3) при известных значениях $a_1 = 0.008 \text{ м}^2/\text{с}$, $k = 0.5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ и вычисляем $z_1(t)$ в (5). График функции $z_1(t)$ показан на рис. 1. В расчетах использованы следующие исходные данные: $p_0 = 50 \text{ МПа}$, $p_c = 30 \text{ МПа}$, $L = 10 \text{ м}$. Результаты вычислений по (15) приведены в табл. 1, из которой видно, что расчетные значения a_1 и k практически совпадают с заданными. Для расчетов значения a_2 по (22) сначала численно решим уравнение (2) с условиями (4) при из-

вестном значении $a_2=0.015 \text{ м}^2/\text{с}$ и вычисляем $z_2(t)$ в (6), что приведено на рис. 2. Результаты расчетов по формуле (22) приведены в табл. 2. Анализ результатов показывает, что расчетное значение a_2 близко к заданному.

Таблица 1

Результаты расчетов по формуле (15)

$\Delta z_{10} \times 10^8, \text{ м/с}$	$\Delta z_{11} \times 10^8, \text{ м}$	Заданное значение $k \times 10^{16}, \text{ м}^2$	Заданное значение $a_1 \times 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Расчетное значение $k \times 10^{16}, \text{ м}^2$	Расчетное значение $a_1 \times 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$
4066904	3359267915	5000	8000	5001	8045

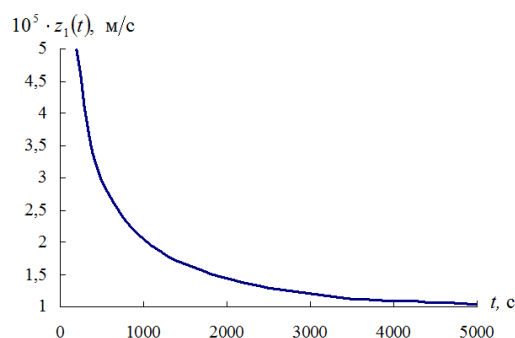


Рис. 1. График функции $z_1(t)$

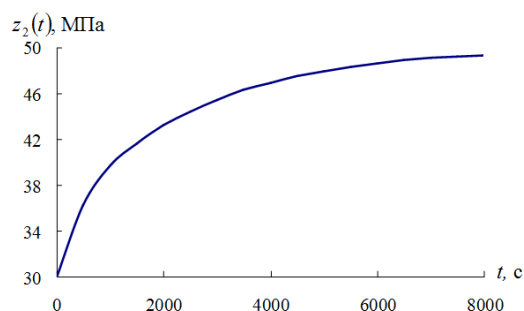


Рис. 2. График функции $z_2(t)$

Таблица 2

Результаты расчетов по формуле (22)

$L, \text{ м}$	$p_0, \text{ МПа}$	$p_c, \text{ МПа}$	$\Delta z_{20} \times 10^5, \text{ МПа} \cdot \text{с}$	Заданное значение $a_2 \times 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$	Расчетное значение $a_2 \times 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$
10	50	30	2967339907	15000	14992

Таким образом, полученные формулы дают достаточно корректные результаты по оценке параметров пласта при упруго-пластическом режиме фильтрации однородных жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горбунов А.Т. Разработка аномальных нефтяных месторождений. М.: Недра, 1981.
- [2] Баренблатт Г.И., Крылов А.П. Об упруго-пластическом режиме фильтрации // Изв. АН СССР. ОТН. 1955. № 2. С. 5 – 13.
- [3] Баренблатт Г.И. О некоторых задачах восстановления давления и распространения волн разгрузки при упруго-пластическом режиме фильтрации // Изв. АН СССР. ОТН. 1955. № 2. С. 14 – 26.
- [4] Горбунов А.Т. Упруго-пластический режим фильтрации жидкости в пористых средах // Изв. АН СССР. МЖГ. 1973. № 5. С. 84-90.
- [5] Хужаёров Б.Х. Об уравнениях фильтрации в упруго-пластическом режиме с выносом песка // ДАН РУз. 1997. № 4. С. 22 – 24.
- [6] Хужаёров Б.Х., Шодмонов И.Э., Холияров Э.Ч., Зокиров А.А. Упруго-пластическая фильтрация жидкости в неустойчивых пластах // ИФЖ. 2003. Т. 76. № 6. С. 123 – 128.
- [7] Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена. М.: Машиностроение, 1988.
- [8] Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Численные методы решения обратных задач математической физики. М.: ЛКИ, 2007. – 480 с.
- [9] Хужаёров Б.Х., Холияров Э.Ч. Обратные задачи упруго-пластической фильтрации жидкости в пористой среде // ИФЖ. 2007. Т. 80. № 3. С. 86 – 93.
- [10] Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973.

Э.Ч. Холияров, И.Э. Шадмонов, М.Т. Шодмонкулов. Бир жинсли говак муҳитда суюқлик эластик-пластик сизишининг тескари масалалари

Ушбу ишда говак муҳитда суюқлик сизишининг эластик-пластик режимдаги тескари коэффициентли масалалари қаралган. Масалани ечиш учун қатламнинг аниқ нуқтасида босим тушириш режимда сизиш тезлиги ва босим тикланиш режимда босим кўринишидаги қўшимча шарт берилди, масалани ечиш учун детерминистик моментлар усули қўлланди. Тескари масалаларни ечиш учун берилган қўшимча маълумотлар берилган коэффициентларга мос тўғри масалаларнинг ечимидан тайёрланган. Қатламнинг босим ўтказувчанлик ва ўтказувчанлик коэффициентлари аниқланган.

E.Ch. Kholiyarov, I.E. Shadmonov, M.T. Shodmonkulov. Inverse problem of elasto-plastic filtration in a homogeneous porous medium

In the paper inverse coefficient problems of elasto-plastic filtration in a porous medium is considered. To solve the problems with additional conditions as a given filtration velocity for pressure decreasing regime at a given point of the medium and given pressure in a given point at pressure restoring regime the method of deterministic moments is used. Initial data for inverse problems are prepared by solving of correspondent direct problems with given parameters. The pressure conductivity and permeability coefficients are determined.

УДК 532.546

Б.Х.ХУЖАЁРОВ, У.Ж.САЙДУЛЛАЕВ, Э.Ч.ХОЛИЯРОВ

УРАВНЕНИЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИЙ С ОБРАЗОВАНИЕМ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО КЕЙК-СЛОЯ

При фильтровании суспензий через пористые фильтры на поверхности фильтра может образоваться слой осадка, состоящий из твердой фазы суспензии. Как правило, это рыхлое тело, подвергающееся значительным деформациям, вследствие чего слой осадка консолидируется, т.е. изменяются его пористость, проницаемость, сопротивление и другие параметры. Внешней силой, воздействующей на слой, являются силы давления подачи суспензии. Часть этого давления в виде компрессионного приводит к отмеченным явлениям. После снятия давления подачи, т.е. при остановке процесса фильтрования, характеристики осадка восстанавливаются не полностью, что объясняется его пластическими свойствами. Таким образом, слой осадка представляет собой упруго-пластическое тело. Теория образования упруго-пластических осадков при фильтровании суспензий до сих пор не создана [1].

Рассмотрим процесс фильтрования суспензии через фильтр с образованием слоя осадка твердых частиц на поверхности фильтра. В режиме увеличения давления характеристики фильтрования отмечаем знаком $\uparrow$, а в режиме понижения давления – $\downarrow$. Так $\uparrow \varepsilon_s$, $\uparrow k$ означают концентрацию твердых частиц и проницаемости слоя осадка в режиме повышения давления, а $\downarrow \varepsilon_s$, $\downarrow k$ – соответственно при понижении давления. Режим повышения давления соответствует процессу фильтрования суспензий, а понижения давления – процессу после остановки фильтрования. Соответственно эти режимы называем нагрузкой и разгрузкой системы.

Изменение ε_s , k в режиме повышения компрессионного давления p_s происходит по степенным закономерностям [1]

$$\uparrow \varepsilon_s = \varepsilon_s^0 \left(1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^\beta, \quad (1)$$

$$\uparrow k = k^0 \left(1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{-\delta}, \quad (2)$$

где ε_s^0 , k^0 – значения ε_s , k при $p_s=0$ соответственно; p_A – характерное давление; β , δ – показатели – постоянные величины.

В режиме первого повышения давления вывод уравнений осуществляется таким же образом, как и в [1, 2]. В итоге имеем уравнение фильтрования [1, 2]

$$\uparrow \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[(-f') \frac{k^0}{\mu} \varepsilon_s \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^0} \right)^{-\delta/\beta} \frac{\partial p_s}{\partial x} \right] - q_{\ell m} \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x}, \quad (3)$$

где

$$q_{\ell m} = - \left[\frac{k}{\mu} \frac{\partial p_{\ell}}{\partial x} \right]_{x=0} = \frac{-p_{\ell m}}{\mu R_m}; \quad (4)$$

μ – вязкость; $p_{\ell m}$ – давление в фильтрате при $x=0$; R_m – приведенное сопротивление фильтровального элемента (фильтра).

При выводе уравнений фильтрования в режиме понижения давления основываемся на идеологии упруго-пластического режима фильтрации, развитой в [3 – 5].

Пусть в определенный момент времени процесс фильтрования останавливается и начинается процесс разгрузки. В процессе разгрузки изменение характеристик происходит такими же степенными закономерностями (1), (2), но с другими коэффициентами и показателями:

$$\downarrow \varepsilon_s = \varepsilon_s^0 \left(1 + \frac{p_s^{(1)}}{p_A} \right)^{\beta - \beta_1} \left(1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{\beta_1}, \quad (5)$$

$$\downarrow k = k^0 \left(1 + \frac{p_s^{(1)}}{p_A} \right)^{\delta_1 - \delta} \left(1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{-\delta_1}. \quad (6)$$

Предположим, что показатели β_1 , δ_1 также зависят от того, с какого давления p_s происходит процесс разгрузки. Пусть эти зависимости также носят степенной характер:

$$\beta_1 = \beta \left(1 + \frac{p_s^{(1)}}{p_A} \right)^{-\gamma_{\varepsilon}}, \quad \delta_1 = \delta \left(1 + \frac{p_s^{(1)}}{p_A} \right)^{-\gamma_k}, \quad (7)$$

где γ_{ε} и γ_k – показатели степенных зависимостей, характеризующих уменьшение β_1 и δ_1 по отношению к β и δ соответственно. Их можно назвать коэффициентами необратимого изменения концентрации ε_s и проницаемости k . Заметим, что при $\gamma_{\varepsilon}=0$, $\gamma_k=0$ имеем полностью обратимый процесс, т.е. режим будет чисто упругим.

Пусть режим фильтрования продолжается до $t=T_1$ и начинается режим разгрузки. В режиме разгрузки началом отсчета времени принимается нуль. Используя (5), (6) на основе законов сохранения, выводим уравнение фильтрования

$$\downarrow \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} = - \frac{\varepsilon_s^0 k^0}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(1 + \frac{p_s^{(1)}}{p_A} \right)^{\beta - \beta_1 + \delta_1 - \delta} \left(1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{\beta_1 - \delta_1} (-f') \frac{\partial p_s}{\partial x} \right] - q_{\ell m} \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x}, \quad (8)$$

где $p_s^{(1)}$ – распределение давления в конце фазы нагрузки.

Начальные и граничные условия могут быть заданы следующим образом:

$$\downarrow p_s(0, x) = \uparrow p_s(T_1, x) = p_s^{(1)}, \quad (9)$$

$$\downarrow p_s(t, L(t)) = 0, \quad \downarrow p_s(t, 0) = 0. \quad (10)$$

Считаем, что в режиме разгрузки рост слоя осадка не происходит, так что $L(t)$ остается без изменения, имея значение $L(T_1)$.

При повторном нагружении системы изменение характеристик ε_s и k происходит в соответствии с законами (5), (6) до $p_s \leq p_s^{(1)}$:

$$\uparrow \uparrow \varepsilon_s = \varepsilon_s^0 \left(1 + \frac{p_s^{(1)}}{p_A} \right)^{\beta - \beta_1} \left(1 + \frac{p_s}{p_A} \right)^{\beta_1}, \quad p_s \leq p_s^{(1)}, \quad (11)$$

$$\uparrow\uparrow k = k^0 \left(1 + \frac{p_s^{(1)}}{p_A}\right)^{\delta_1 - \delta} \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{-\delta_1}, \quad p_s \leq p_s^{(1)}, \quad (12)$$

где $\uparrow\uparrow$ означает режим повторного нагружения.

Когда давление p_s достигает $p_s^{(1)}$, режим фильтрования сменится на предыдущий режим первого нагружения.

Для этого режима выводим уравнение фильтрования, совпадающее по виду с (8)

$$\uparrow\uparrow \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial t} = -\frac{\varepsilon_s^0 k^0}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(1 + \frac{p_s^{(1)}}{p_A}\right)^{\beta - \beta_1 + \delta_1 - \delta} \left(1 + \frac{p_s}{p_A}\right)^{\beta_1 - \delta_1} (-f') \frac{\partial p_s}{\partial x} \right] - q_{\ell m} \frac{\partial \varepsilon_s}{\partial x}. \quad (13)$$

$$p_s \leq p_s^{(1)}.$$

Пусть процесс разгрузки завершился за время T_2 , за которое во всей толщине осадка устанавливается нулевое давление p_s . Повторное нагружение системы можно начинать с заданным давлением $p_0^{(1)}$, где $p_0^{(1)}$ может отличаться от заданного давления p_0 при первом нагружении. Начальные и граничные условия относительно давления имеют следующий вид (время опять начинается с нуля):

$$\uparrow\uparrow p_s(0, x) = 0, \quad (14)$$

$$-\uparrow\uparrow k \frac{\partial p_s}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{p_0^{(1)} - p_s}{R_m} \Big|_{x=0}, \quad (15)$$

$$\uparrow\uparrow p_s(t, L(t)) = 0. \quad (16)$$

Заметим, что уравнение (13) решается до соблюдения условия $p_s \leq p_s^{(1)}$. Когда достигается условие $p_s = p_s^{(1)}$, нужно переходить к решению уравнения (3) при соответствующих условиях.

Численная реализация и результаты. Для решения уравнения (8) с условиями (9), (10) и уравнения (13) с условиями (14) – (16) используем метод конечных разностей с ловлей подвижного фронта [6, 7]. Численные результаты решения задачи получены при следующих значениях параметров: $p_A = 10^4$ Па, $p_0 = 10^5$ Па, $R_m = 10^{12}$ 1/м², $\mu = 10^{-3}$ Па·с, $k^0 = 10^{-13}$ м², $\varepsilon_s^0 = 0.2$, $\varepsilon_{s_0} = 0.0076$, $\beta = 0.13$, $\delta = 0.57$.

Некоторые результаты численных расчетов приведены на рис. 1 – 3. После некоторого времени процесс нагрузки останавливается и начинается процесс разгрузки с нулевыми давлениями на концах слоя осадка. Хотя на границе осадка и фильтра давление не мгновенно обращается в нуль за счет гидравлического сопротивления фильтра, здесь для удобства рассуждений принимается сразу нулевое давление. Как отмечалось, отсчет времени начинается с нуля.

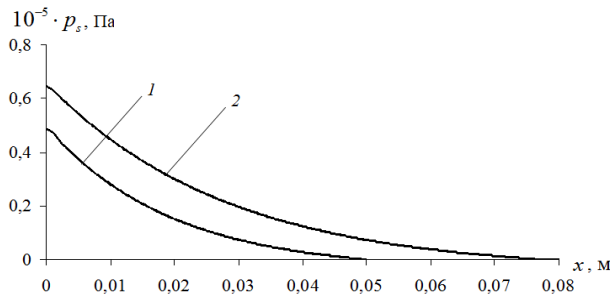


Рис. 1. Распределение p_s в режиме повышения давления при t , равном, с: 1 – 450; 2 – 900

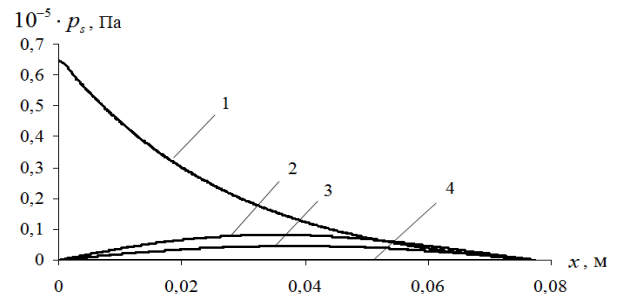


Рис. 2. Распределение p_s в режиме понижения давления при $\gamma_e=0.6$, $\gamma_k=0.6$ и t , равном, с: 1 – 0; 2 – 25; 3 – 50; 4 – 300

На рис. 1 приведены результаты определения фильтрационных показателей для двух значений времени. Кривые 2 на рис. 1, 2 соответствуют последнему моменту первого нагружения

системы, а кривые 1 – последнему моменту $t=T_1$ режима нагружения или $t=0$ режима разгрузки. Как установлено, динамика разгрузки характеристик происходит относительно быстро. Давление в соответствии с граничными условиями быстро уменьшается до нуля по всей толщине осадка, а в динамике пористости и проницаемости наблюдаются остаточные явления, они не восстанавливаются до своих первоначальных значений. Это объясняется пластическими свойствами осадка, которые в представленной модели характеризуются параметрами γ_e и γ_k . Как отмечалось, нулевые значения этих параметров соответствуют чисто упругому режиму, когда все характеристики слоя осадка после разгрузки восстанавливаются до своих прежних значений. Большие значения этих параметров соответствуют усилению пластических эффектов и в предельном случае. Когда они стремятся к бесконечности, получаем чисто пластический режим.

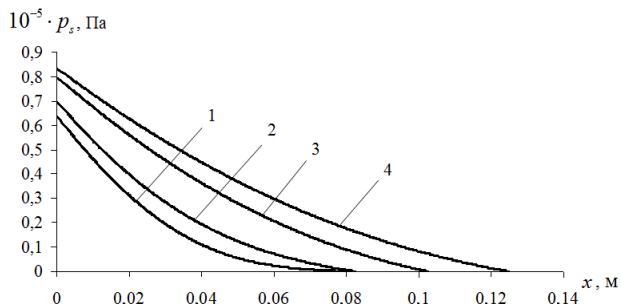


Рис.3. Распределение p_s в режиме повторного нагружения при $\gamma_e=0.6$, $\gamma_k=0.6$ и t , равном, с: 1 – 50; 2 – 100; 3 – 450; 4 – 900

Как установлено (см. рис. 3), при повторном нагружении системы (давление нагружения принято таким же, как в первом нагружении) наблюдается другой характер распределения компрессионного давления. Остаточные деформации после разгрузки отражаются в характере последующей деформации осадка.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tien C. Principles of filtration. Elsevier: The Netherlands, 2012.
- [2] Федоткин И. М. Математическое моделирование технологических процессов. Киев: Вища школа, Головные изд-во, 1988. – 415 с.
- [3] Горбунов А. Т. Упруго-пластический режим фильтрации жидкости в пористых средах // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1973. № 5. С. 84 – 90.
- [4] Баренблатт Г. И., Крылов А. П. Об упруго-пластическом режиме фильтрации // Изв. АН СССР, ОТН. 1955. № 2. С. 5 – 13.
- [5] Баренблатт Г. И. О некоторых задачах восстановления давления и распространения волн разгрузки при упруго-пластическом режиме фильтрации // Изв. АН СССР. ОТН. 1955. № 2. С. 14 – 26.
- [6] Самарский А. А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1989. – 616 с.
- [7] Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2009. – 784 с.

Самаркандский государственный университет
им. Алишера Навои

Дата поступления
24.11.2015

Б.Х. Хужайёров, У.Ж. Сайдуллаев, Э.Ч. Холияров. Эластик-пластик кейк-қатлам ҳосил бўлганда суспензияларнинг филтрлаши тенгламалари

Мақолада эластик-пластик кейк-қатлам ҳосил бўлганда суспензияларни филтрлаши тенгламалари келтириб чиқарилган. Юкланиш ва юксизланиш режимларида тенгламалар сонли ечилган. Филтрлаши характеристикаларига кейк-қатламнинг эластик-пластик хусусиятлари таъсири ўрнатилган.

B.Kh. Khuzhayorov, U.Zh. Saydullaev, E.Ch. Kholiyarov. Suspensions filtering equations with forming an elasto-plastic cake layer

In the paper suspensions filtering equations with forming an elasto-plastic cake layer are derived. Equations are numerically solved for both loading and unloading regimes. Influence of elasto-plastic properties of the cake layer on filtering characteristics is established.

ОБОСНОВАНИЕ УГЛОВ РАСТВОРА ЛЕЗВИЙ КРЫЛЬЕВ АСИММЕТРИЧНОЙ ЛАПЫ

Серийные пассивные рабочие органы, снабженные симметричными стрелчатыми лапами для обеспечения перекрытия, устанавливают в два ряда и более. Это приходится выполнять громоздкими почвообрабатывающими машинами, с большими габаритными размерами и массой, что приводит к ухудшению их маневренности, увеличению энергозатрат и длины вылета рабочего органа, следовательно, ширины поворотной полосы. Как показали наши исследования [1], эти недостатки их можно предотвратить применением пассивного рабочего органа, снабженного асимметричной лапой, расположенной в один ряд с перекрытием.

У таких пассивных рабочих органов из-за разницы углов раствора смежных крыльев лапы между концами перекрывающих друг друга крыльев смежных лап образуется некоторое расстояние l_z , через которое свободно проходят растительные остатки, тем самым, несмотря на установку их в один ряд с перекрытием, устраняются скапливание растительных остатков и сгуживание почвы.

Таким образом, углы раствора лезвий крыльев являются параметрами, определяющими конструктивные отличия асимметричной лапы от известных серийных симметричных стрелчатых лап. При этом правое (Γ) и левое (Λ) крылья асимметричной лапы (рис. 1) выполнены с разными углами раствора, т.е. если правое крыло выполнено с большим углом раствора $\gamma_p^{(n)}$, то левое – с меньшим углом раствора $\gamma_p^{(l)}$.

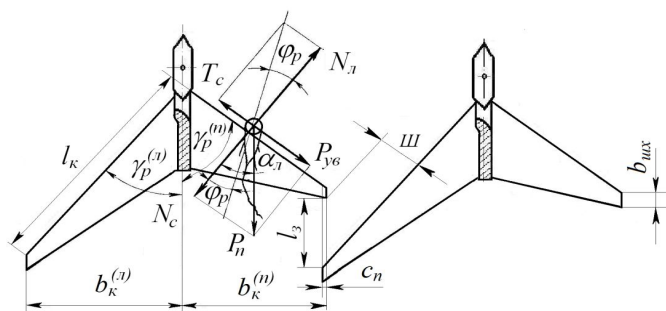


Рис. 1. Схема определения углов раствора лезвий крыльев лапы

Согласно работе [2], угол раствора крыла с большим углом раствора следует выбрать таким, чтобы подрезание сорняков производилось скользящим резанием, а корни вырванных сорняков безостановочно скользили вдоль лезвий.

Для обеспечения условий скольжения вдоль лезвия крыла направление силы реакции почвы P_n , испытываемое сорняком, должно быть вне раствора угла трения растительных остатков о металл φ_p [2]. В противном случае сила, увлекающая сорняки P_{yb} , будет меньше, чем сила трения T_c , а это приводит к скапливанию сорняков на крыле лапы, вследствие чего она перестает подрезать их и выглубляется из почвы.

Итак, для предотвращения забивания лезвия крыла сорняком должно быть соблюдено условие, при котором угол α_n между нормалью $N_c(N_n)$ и направлением силы сопротивления почвы деформации P_n должен быть больше, чем φ_p .

Согласно расчетной схеме, такое условие обеспечивается, когда значение угла раствора лезвий крыла с большим углом раствора будет

$$\gamma_p^{(n)} < \frac{\pi}{2} - \varphi_p. \quad (1)$$

В отличие от предыдущего угол раствора лезвий крыла с меньшим углом раствора определяется из условия обеспечения перекрытия c_n между смежными лапами (рис. 2) и беспрепятствен-

ного схода корней растительных остатков с лезвия крыльев смежных лап. Такое условие обеспечивается при наличии некоторого расстояния l_3 между концами перекрывающих друг друга крыльев смежных лап, которое при однорядном расположении пассивных рабочих органов достигается смещением по ходу движения относительно друг друга смежных крыльев лап или изменением углов их раствора.

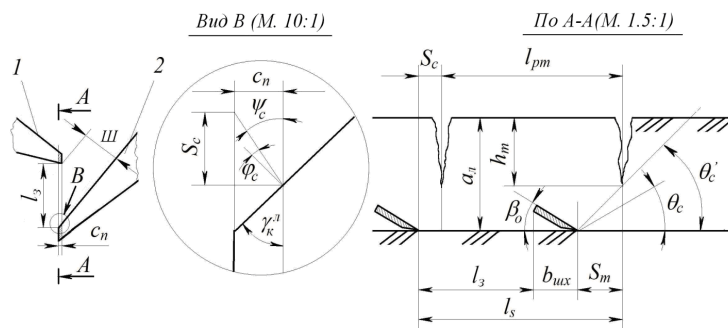


Рис.2. Расчетная схема: 1, 2– соответственно крылья с большим и меньшим углом раствора

Кроме того, для обеспечения условия деблокированного рыхления почвы крылом с меньшим углом раствора должно быть соблюдено условие

$$l_3 \geq (S_c + l_{pm}) - (S_m + b_{ux}), \quad (2)$$

где S_c – шаг разрушения почвы, м; l_{pm} – расстояние между смежными трещинами, м; S_m – расстояние между лезвием крыла лапы и трещиной в момент сдвига почвы, м; b_{ux} – горизонтальная проекция ширины полки b_{ui} крыла лапы (в зоне перекрытия) (м), в противном случае сдвиг почвы происходит в закрытом с двух сторон выступе.

Согласно расчетной схеме, определяем значения величин S_c , S_m и b_{ux} , т.е.

$$S_c = \frac{c_n}{\operatorname{tg} \left[\frac{\pi}{2} - \psi_c \right]} = \frac{c_n}{\operatorname{tg} \left[\frac{\pi}{2} - (\gamma_k^l + \varphi_c) \right]}, \quad (3)$$

$$S_m = \frac{a_l - h_m}{\operatorname{tg} \theta'_c}, \quad (4)$$

$$b_{ux} = b_{ui} \cos \beta_o, \quad (5)$$

где a_l – глубина обработки, м; h_m – глубина трещины, м; φ_c – угол трения почвы о сталь, градус; θ'_c – угол сдвига почвы с поверхностными трещинами, градус; b_{ui} – ширина полки крыла лапы, м; β_o – угол вхождения лапы в почву, градус.

Подставляя величины S_c , S_m и b_{ux} в выражение (2), получим

$$l_3 \geq \frac{c_n}{\operatorname{tg} \left[\frac{\pi}{2} - (\gamma_k^l + \varphi_c) \right]} - \frac{a_l - h_m}{\operatorname{tg} \theta'_c} - b_{ui} \cos \beta_o + l_{pm}. \quad (6)$$

Далее после несложного преобразования выражения (6) получим величину угла раствора крыла с меньшим углом раствора, т.е.

$$\gamma_p^{(n)} \leq \frac{\pi}{2} - \varphi_c - \operatorname{arctg} \frac{c_n}{l_3 + \frac{a_l - h_m}{\operatorname{tg} \theta'_c} + b_{ui} \cos \beta_o - l_{pm}}. \quad (7)$$

Таким образом, анализируя результаты аналитических исследований, можно отметить, что при угле трения растительных остатков $\varphi_p = 40 - 45^\circ$ [1], согласно (1), значение раствора крыла с

большим углом раствора будет $\gamma_p^{(n)} = 45 - 50^\circ$. Для увеличения вероятности резания растительных остатков принимаем $\gamma_p^{(n)} < 50^\circ$, т.е. $\gamma_p^{(n)} \approx 48^\circ$.

Справедливость выражений (1) доказана результатами экспериментальных исследований [1], где с возрастанием значения угла раствора количество зависших на крыльях сорняков увеличивается и при достижении значений $\gamma_p > 50^\circ$ лапа обволакивается растительными остатками, залипает почвой и выглубляется.

Из расчетной схемы (см. рис. 2) также видно, что для наихудшего случая, когда почвенный блок, ограниченный трещинами, отрывается от основания без существенного разрушения, для обеспечения свободного прохода его через щели, находящегося между крыльями смежных лап под действием заднего расположенного крыла, должно быть $l_3 = l_{pm} - b_{ux}$.

Если представить, что поверхность поля имеет многочисленные трещины, соединенные между собой, то условно расстояние между трещинами можно принять равным длине трещин. Среднее значение длины и глубины трещины, согласно исследованиям [3], можно принять равным, соответственно, $l_{pm} = 170.8$ и $h_m = 105.2$ мм. Ширину полки крыла в зоне перекрытия лап, согласно работе [4] $b_u = 30 - 50$ мм, принимаем равной 40 мм. Угол вхождения лап, согласно работе [4] $\beta_o = 35 - 40^\circ$, принимаем $\beta_o = 38^\circ$. Значение угла θ'_c принимаем равным 48° . Тогда для обеспечения достаточного просвета между смежными лапами, при их однорядном расположении при значениях $a_n = 180$ мм; $c_n = 10$ мм и $\varphi_c = 30^\circ$, согласно выражению (7), угол раствора крыла с меньшим углом раствора должен быть $\gamma_p^{(n)} < 36^\circ 50'$.

Таким образом, для обеспечения скользящего резания угол раствора лезвий крыла с большим углом раствора должен быть не более 50° , а для обеспечения перекрытия между смежными лапами и беспрепятственного схода корней растительных остатков с лезвия крыльев лап угол раствора лезвий крыла с меньшим углом раствора должен быть не более $36^\circ 50'$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ахметов А.А., Атакулов Х.К., Алланазаров М.А., Иноятлов И.А., Нурмихамедов Б.У., Узакбергенов Ж.К. Комплексные исследования по созданию комбинированных почвообрабатывающих машин / Под ред. Ахметова А.А. Бухара: Бухоро, 2012. – 154 с.
- [2] Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
- [3] Ахметов А.А., Аблаев Ш.К. Исследование состояния поверхности полей на засоленных землях после промывного полива // Механизация хлопководства. Ташкент. 1991. № 11. С. 13 – 14.
- [4] Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / Под ред. Клецкина М.И. М.: Машиностроение, 1967. Т. 2. – 830 с.

Специальное конструкторское бюро «Трактор»

Дата поступления
16.04.2015

А.А. Ахметов. Асимметрик панжа қанотлари тигининг очилиш бурчагини асослаш

Ушбу мақолада асимметрик панжа қанотлари тигининг очилиш бурчагини асослаш бўйича олиб борилган изланишларнинг натижалари келтирилган. Бунда панжа қанотлари тигининг катта очилиш бурчаги сирпаниб қирқилиш шартидан келиб чиққан ҳолда, панжа қанотлари тигининг кичик очилиш бурчаги эса ёндош панжаларни қоплаш ва ўсимлик қолдиқлари илдизининг ёндош панжалар тигидан тўсиқсиз тушиши шартидан келиб чиққан ҳолда аниқланган.

A.A. Axmetov. Justification of the angles of the blades' solutions of the asymmetrical clutch's wings

В статье приводятся результаты исследований по обоснованию углов раствора лезвий крыльев асимметричной лапы. При этом угол раствора лезвий крыла с большим углом раствора определяется из условия обеспечения скользящего резания, а угол раствора лезвий крыла с меньшим углом раствора – из условия обеспечения перекрытия между смежными лапами и беспрепятственного схода корней растительных остатков с лезвия крыльев лап.

ВЕКТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЛИНТЕРОВАНИЯ ХЛОПКОВЫХ СЕМЯН

Требования к технологическому процессу линтерования диктуются, во-первых, условиями получения заданных качественных показателей линта и хлопковых семян и, во-вторых, необходимостью наиболее экономичного протекания процесса. Основными требованиями, предъявляемыми к процессу линтерования, являются минимальная засоренность хлопкового линта, уменьшение поврежденности и опушенности хлопковых семян, так как от значений этих показателей зависит возможность их дальнейшей переработки.

Объединив эти три требования в одно, получим следующий векторный критерий оптимальности процесса линтерования:

$$J_{opt} = \{(Y_2 - Y_{02})^2; (Y_3 - Y_{03})^2; (Y_4 - Y_{04})^2\} = \min, \quad (1)$$

где Y_2, Y_3, Y_4 – текущие значения засоренности линта, поврежденности и опушенности хлопковых семян; Y_{02}, Y_{03}, Y_{04} – индивидуальные оптимумы при ограничениях

$$Y_1 \geq Y_{1n}; Y_{5n} \leq Y_5 \leq Y_{56}; Z_{in} \leq Z_i \leq Z_{i6};$$

$Y_{1n}, Y_{5n}, Y_{56}, Z_{in}, Z_{i6}$ – верхние и нижние ограничения, допустимые по технологическому регламенту; Y_1 – производительность по линту; Y_5 – масса семенного валика.

Данный критерий оптимальности обусловлен как требованиями, предъявляемыми к хлопковому линту и семенам, так и требованиями экономичного протекания технологического процесса.

Таким образом, к системе оптимального управления процессом линтерования предъявляются требования поддержания минимальных отклонений засоренности линта, поврежденности и опушенности семян от их заданных значений.

Рассматриваемая задача относится к многокритериальным. В настоящее время известно большое количество работ, посвященных проблемам постановки и решения задач векторной оптимизации [1, 2]. Для решения задачи статической оптимизации технологического процесса линтерования хлопковых семян воспользуемся методом нормированного критериального пространства, который обеспечивает минимальное отклонение значений целевых функций J_i от индивидуальных оптимумов.

При ограничениях

$$Ax \leq B \quad (2)$$

находятся решения Y_i , которые обращают в экстремум каждую из целевых функций в отдельности:

$$J_i(x_i) - Q_i, \quad (3)$$

где Q_i – оптимальное значение i – той целевой функции. Затем нормируется пространство целевых функций

$$S_i(x) = \frac{Q_i - J_i(x)}{Q_i} = 1 - \frac{J_i(x)}{Q_i}. \quad (4)$$

Величина $S_i(x)$ является мерой отклонений i –той целевой функции от оптимального значения Q_i при произвольных значениях x . Степень достижения общей цели возрастет, если в области ограничений (2) будет найдена точка, соответствующая максимальному приближению к несовместной системе функций $S_i(x)=0$. Для определения положения этой точки совокупность отклонений представляется в виде вектора S , на который накладывается требование минимума

$$\min S^2(x) \quad (5)$$

при ограничениях (2).

Если локальные целевые функции $J_i(x)$ не являются гладкими выпуклыми функциями, то решение (5) может быть сопряжено с вычислительными трудностями. В связи с этим возникает необходимость пронормировать пространство переменных x

$$\rho_i(x_j) = 1 - \frac{x_j}{Y_{j,i}} \quad (6)$$

и потребовать нахождение таких x_j , которые обеспечивают

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \rho_i^2(x_j) \quad (7)$$

при ограничениях (2), а x_j обозначает j -тую компоненту вектора x ; $Y_{j,i}$ – значение той же компоненты вектора Y , оптимизирующей i -тую локальную целевую функцию $J_i(x)$. Значение $\rho_i(x_j)$ является мерой отклонения решения по компоненте x_j от оптимального решения в смысле цели $J_i(x)$ и позволяет не выходить за рамки выпуклого программирования.

Можно отметить, что решения, получаемые при нормировании пространства целевых функций и пространства переменных, в общем случае могут и не совпадать.

Данный метод можно использовать для любого класса локальных целевых функций, а компромиссное решение выбирается из всей допустимой области определения переменных. При этом предполагается, что для данного класса решений существует способ решения задачи оптимизации при принятых ограничениях. Приведенное решение (7) является способом принятия решения в условиях, когда другие методы неработоспособны.

Минимизацию функции $J_{\text{опт}}$ можно осуществить различными способами. Одним из методов, отличающимся простотой вычислений, является метод сканирования. Он относится к безградиентным методам детерминированного поиска, который использует в процессе информацию, полученную не при анализе производных, а от сравнительной оценки критерия оптимальности. Метод заключается в последовательном просмотре значений критерия оптимальности независимых переменных и нахождении среди них такой, в которой критерий оптимальности имеет экстремальное значение. Для этого диапазон изменения каждой независимой переменной делится на равные отрезки Δx_i , минимальная величина которых выбирается из условия существенности их влияния в реальном процессе на качественный показатель критерия оптимальности и допустимого технологического ограничения. Каждое последующее значение критерия оптимальности, рассчитанное на поиск, сравнивается с предыдущим и запоминается. В итоге в памяти ЭВМ остается значение критерия оптимальности.

К достоинствам метода сканирования относятся, во-первых, обязательное отыскание глобального оптимума и, во-вторых, независимость поиска от вида оптимизируемой функции. Основным недостатком метода является большой объем вычислений. Для уменьшения объема вычислений используются различные модификации метода сканирования, например, алгоритм с переменным шагом сканирования, который применен в настоящей работе.

Вначале выясняют, лежит ли решение задачи в области допустимых решений, иначе в качестве последних принимаются соответствующие граничные значения x_i ($i=1, \dots, 4$). Затем вычисляются значения функций J_j ($j=1, \dots, 3$) при различных x_i ($i=1, \dots, 4$), изменяющихся с шагом Δx . Значения J_j ($j=1, \dots, 3$) сравниваются с величиной E , которая представляет собой заданную точность вычисления [3]. Для вычисления оптимальных значений управляющих параметров с точностью до 0.5 % достаточно принять $E=10^{-3}$.

Расчеты показывают, что для локализации области нахождения глобального оптимума целесообразно принять следующие начальные шаги сканирования: $\Delta Z_1=20$ об/мин; $\Delta Z_2=4$ мм; $\Delta Z_3=3$ мм; $\Delta Z_4=3$ об/мин при значениях $Y_5=25.7$. Оптимальные решения отыскиваются в следующей области:

$$730 \text{ об/мин} \leq Z_1 \leq 750 \text{ об/мин}, \quad 25 \text{ мм} \leq Z_2 \leq 29 \text{ мм}.$$

$$29 \text{ мм} \leq Z_3 \leq 32 \text{ мм}, \quad 4 \text{ об/мин} \leq Z_4 \leq 7 \text{ об/мин}$$

с шагом сканирования $\Delta Z_1=5$ об/мин; $\Delta Z_2=1$ мм; $\Delta Z_3=1$ мм; $\Delta Z_4=1$ об/мин. При этом Z_1 – скорость вращения пильного цилиндра; Z_2 – зазор между семенной гребенкой и колосниками; Z_3 – зазор

между питающим валиком и регулирующим направителем; Z_4 – число оборотов питающего валика; Y_5 – масса семенного валика.

После определения значений Z_i ($i=1, \dots, 4$), минимизирующих частные критерии оптимальности, переходим к решению задачи минимизации функции нормированных аргументов

$$J = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \rho_i^2(x_j) = \left(1 - \frac{x_1}{740}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_1}{730}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_1}{750}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_2}{25}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_2}{25}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_2}{29}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_3}{30}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_3}{32}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_3}{30}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_4}{4}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_4}{5}\right)^2 + \left(1 - \frac{x_4}{7}\right)^2.$$

Решение находим из следующей системы уравнений: $\frac{dJ}{dx_i} = 0$, при любом x $\frac{d^2J}{dx^2} > 0$.

Полученные значения Z_j приведены в таблице и обеспечивают минимум критерия оптимальности для принятых значений поврежденности ($J_1=\min$) и опушенности хлопковых семян ($J_2=\min$) и засоренности хлопкового линта ($J_3=\min$).

Определенные значения Z

Показатель	$Z_{1онм.}$	$Z_{2онм.}$	$Z_{3онм.}$	$Z_{4онм.}$
$J_1=\min$	740	25	30	4
$J_2=\min$	730	25	32	5
$J_3=\min$	750	29	30	7
J_B	740	27	31	5

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что практически не существует решения, обеспечивающего оптимум одновременно по трем критериям. Найденное компромиссное решение (J_B) не является оптимальным ни по одному из критериев, но наиболее приемлемо для всего множества критериев.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Беляков В.В., Бушуева М.Е., Сагунов В.И. Многокритериальная оптимизация. Нижний Новгород, 2001. – 317 с.
- [2] Борисов В.И. Проблема векторной оптимизации // Исследование операций. Методологические аспекты. М., 1972. С. 72 – 91.
- [3] Камалов Н.З., Камалов Ш.З., Каримов Д.Р. Оптимизация параметров технологического процесса линтерования хлопковых семян // Материалы Республиканской НПК “Научно-методические и практические аспекты формирования “Кластеры текстиль Намангана”. 21-22 ноября 2013. Наманган: НамИТИ, 2013. С. 64 – 67.

Акционерное общество “Paxtasanoat ilmiy markazi”

Дата поступления
06.10.2014

Н.З. Камалов, Ш.З. Камалов, Д.Р. Каримов, Ф.Б. Болтаев. Пахта чигитини линтерлаш технологик жараёнини векторли оптималлаштириши

Ишда векторли оптималлаштириши масалаларини ечиши усуллари кўрилган ва танланган усул ёрдамида пахта чигитини линтерлаш технологик жараёнини оптималлаштириши амалга оширилган.

N.Z. Kamalov, Sh.Z. Kamalov, D.R. Karimov, F.B. Boltaev. Vector optimisation of process linting cotton seeds

In work methods of the decision of problems of vector optimisation are considered and on the basis of the chosen method the question of vector optimisation of technological process linting cotton seeds.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИНТА С КОЛОСНИКАМИ В МОДУЛЕ ЛИНТООЧИСТИТЕЛЯ

Ценнейшим сырьем для химической, текстильной и бумажной промышленности является лент, получаемый при линтеровании хлопковых семян на хлопкозаводах. Одна из наиболее рациональных областей использования хлопкового линта – переработка его в целлюлозу. Качество целлюлозы зависит от состава, структуры и свойства линта, получаемого при его очистке. Лент характеризуется такими показателями, как штапельная длина, содержание крупных и мелких сорных примесей, а также целых семян. Для получения высококачественной хлопковой целлюлозы штапельная длина линта должно быть не менее 5 мм с массовой долей сорных примесей и целых семян в ленте до 4.5 %. Технология очистки линта от сорных примесей предусматривает, в основном, мокрую и сухую очистку. Эффективным является сухой способ очистки линта. При этом очистка линта характеризуется степенью уменьшения сцепляемости сорных примесей с очищаемым материалом. Эффективность очистки зависит от рационального протекания процесса очистки, включающего в себя конструктивные параметры машин, от степени засоренности очищаемого материала, условия подачи его в очистительную зону машины и взаимодействия рабочих органов с очищаемым и удаляемым материалом в процессе очистки, и.т.д. При правильно организованном процессе обеспечивается получение высококачественной продукции, требуемой для получения целлюлозы. В связи с этим рассмотрим модель очистки при взаимодействии частицы крупного сора с поверхностью колосника в модуле линтоочистителя.

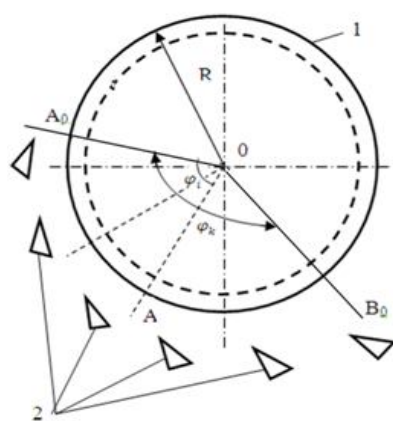


Рис. 1. Расчетная схема модуля очистки линта от крупного сора:
1 – пильный цилиндр; 2 – колосники

В процессе очистки волокна при ударных воздействиях рабочих органов (колосников) на материал в модуле очистки (рис. 1) происходит изменение плотности волокнистой среды за счет увеличения объема клочков и изменения массы волокон вследствие выделения сорных примесей. Волокнистая масса поступает непрерывно в камеру Q разрыхлительно-очистительной машины. Если колосниковая решетка занимает S_0 поверхности камеры, то время пребывания массы составляет $T = S_0/\omega$, ω – частота вращения барабана. В связи с непрерывностью процесса за время T в камеру поступает одинаковое количество массы линта, равной $m_0 = Q/\omega$.

Считаем, что при взаимодействии волокнистой массы в зоне очистки с колосниками количество последних равно n . При этом в местах расположения колосников происходит их точечный удар по массе, что приводит к скачкообразному изменению ее скорости вдоль линии взаимодействия с колосниками. Обозначим через R радиус барабана, и примем, что все колосники расположены на одинаковом расстоянии от поверхности барабана. При этом зона взаимодействия волокнистой массы с колосниками осуществляется вдоль дуги A_0B_0 $0 < S \leq S_0 = (R + r_1)\varphi_k$, где угол расположения колосников меняется в интервале $0 \leq \varphi \leq \varphi_k$ (φ_k – общий угол зоны расположения колосников, через $\varphi = \varphi_i$ – положение i -го колосника), r_1 – расстояние между колосниками и пильным цилиндром.

На произвольной дуге dS относительное изменение массы вычисляем, согласно формуле [1],

$$\frac{dm_i}{m_i} = \frac{d\rho_i}{(1 + \alpha)\rho_i}, \quad (1)$$

где α – постоянная; m_i и ρ_i – соответственно текущая масса и плотность волокнистой массы после удара; dm_i и $d\rho_i$ – их приращения в результате ударного взаимодействия массы с колосником за промежуток времени dt . При этом относительное изменение плотности определяем по формуле [2]

$$\frac{d\rho_i}{\rho_i} = -b\omega dt, \quad (2)$$

где b – коэффициент пропорциональности. Считаем, что удары по каждому колоснику являются точечными, поэтому выражение (2) представим в виде

$$\frac{d\rho_i}{\rho_i} = -b\omega_i \cdot \delta(\varphi - \varphi_i) dt, \quad (3)$$

где ω_i – угловая скорость прядки волокон при ударе с i -тым колосником; $\delta(z)$ – функция Дирака; $\varphi_i = i\varphi_k/n$; n – количество колосников. Учитывая стационарность процесса, введем переменную Эйлера по формуле $dt = d\varphi/\omega$. Тогда уравнение (3) приобретет вид

$$\frac{d\rho_i}{\rho_i} = -\frac{b\omega_i\delta(\varphi - \varphi_i)d\varphi}{\omega}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (1), получаем выражение для относительного изменения волокнистой массы

$$\frac{dm_i}{m_i} = b_i\lambda\delta(\varphi - \varphi_i)d\varphi, \quad (5)$$

где $b_i = \frac{b}{1+\alpha}$; $\lambda_i = \frac{\omega_i}{\omega}$.

Интегрируя уравнения (5) с условием $m=m_0$ при $\varphi<0$, получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} m_1 &= m_{00} \text{ при } 0 \leq \varphi < \varphi_0, \\ m_2 &= m_{00}e^{-b_1\lambda_1} \text{ при } \varphi_0 < \varphi < 2\varphi_0, \\ m_2 &= m_{00}e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2)} \text{ при } 2\varphi_0 < \varphi < 3\varphi_0, \\ m_i &= m_{00}e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_{i-1})} \text{ при } (i-1)\varphi_0 < \varphi < i\varphi_0, \\ m_i &= m_{00}e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_i)} \text{ при } i\varphi_0 < \varphi < (i+1)\varphi_0, \\ m_{n-1} &= m_{00}e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_{n-2})} \text{ при } (n-2)\varphi_0 < \varphi < (n-1)\varphi_0, \\ m_n &= m_{00}e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_n)} \text{ при } (n-1)\varphi_0 < \varphi < n\varphi_0, \end{aligned}$$

где $m_{00} = \frac{m_0}{n}$, $\lambda_i = \frac{\omega_i}{n}$, $\varphi_0 = \frac{\varphi_k}{n}$.

Из формулы (3) видно, что уменьшение массы линта после взаимодействия с колосниками происходит скачкообразно, а очистительный эффект после контакта с i -тым колосником вычисляется по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{m_{00} - m_i}{m_{00}} = 1 - e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_{i-1})}.$$

Суммарная величина измененной массы линта, поступающего в зону очистки, равна

$$m = \frac{m_0}{n} [e^{-b_1\lambda_1} + e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2)} + e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)} + \dots + e^{-b_1(\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_n)}]. \quad (6)$$

В частности, если полагать $\lambda_i = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = \lambda_0$, ($\lambda_0 = \omega_0/n$), то имеем

$$m = \frac{m_0}{n} e^{-b_1\lambda_0} [1 + e^{-b_1\lambda_0} + e^{-2b_1\lambda_0} + \dots + e^{-(n-1)b_1\lambda_0}].$$

Сумма в скобках представляет собой геометрическую прогрессию со знаменателем $e^{-b_1\lambda_0}$; поэтому можно написать

$$m = \frac{m_0}{n} e^{-b_1\lambda_0} \frac{1 - e^{-nb_1\lambda_0}}{1 - e^{-b_1\lambda_0}}. \quad (7)$$

Очистительный эффект определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{m_0 - m}{m_0} = 1 - \frac{e^{-\lambda}(1 - e^{-n\lambda})}{n(1 - e^{-\lambda})}. \quad (8)$$

Здесь $\lambda = b_1\lambda_0$.

Если очистительный эффект будет равен β (в процентах), то из (8) можно установить связь между числом колосников n и параметром λ

$$n = 0.01\beta + \frac{e^{-\lambda}(1 - e^{-n\lambda})}{1 - e^{-\lambda}}. \quad (9)$$

На рис. 2 представлены зависимости ε от параметра λ для различного числа колосников.

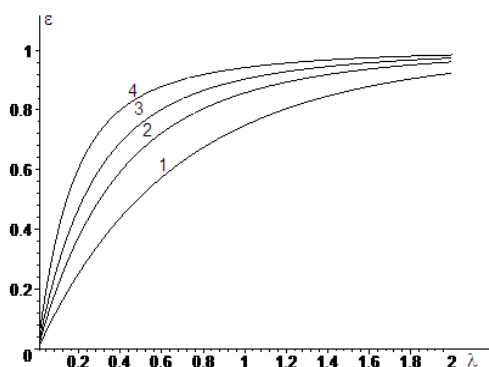


Рис. 2. Зависимости очистительного эффекта ε от параметра λ для различного числа колосников n :
1 – $n=2$; 2 – $n=4$; 3 – $n=6$; 4 – $n=10$

Из анализа кривых следует, что с ростом параметра λ (например, с ростом скорости удара) очистительный эффект сначала быстро растет и далее при $\lambda > 2$ практически остается постоянным и незначительно зависит от числа колосников. Значительный рост очистительного эффекта наблюдается при числе колосников $n=2-6$, и далее его рост с увеличением n незначителен.

Таким образом, теоретически изучен процесс очистки волокнистого материала от крупного сора на колосниках в модуле очистки, при этом аналитически определены координаты установки и количество колосников в модуле по отношению к пыльному цилиндру, что позволит подойти к разработке эффективного линтоочистителя.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мирошниченко Г.И. Основы проектирования машин первичной обработки хлопка. М.: Изд. «Машиностроение», 1972. – 484 с.
- [2] Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А. Моделирование технологических процессов. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 344 с.

Акционерное общество “Paxtasanoat ilmiy markazi”

Дата поступления
06.10.2014

Р.Ш. Сулаймонов, Б.М. Мардонов, А.Е. Лугачев. Момиқ тозалағиш модулида ифлос араалашмаларни колосниклар билан ўзаро таъсири жараёнлари бўйича изланишлар

Мақолада назарий изланишлар асосида момиқни йирик ифлосликлардан колосниклар ёрдамида тозалаш жараёнининг модели олинган ва колосникларнинг рационал сонлари аниқланган.

УДК 626.81

Э.Ж. МАХМУДОВ, Е. ШЕРМАТОВ, И.А. УСМАНОВ

НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРЫ СОЗДАНИЯ УСТОЙЧИВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ УЗБЕКИСТАНА ИЗ ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ АМУДАРЬИ

Построенные в 70-е годы XX столетия водозаборные сооружения для подачи в систему машинного канала Аму – Занг в Сурхандарьинской области, Каршинский машинный канал (КМК) в Кашкадарьинской области, к насосным станциям в Аму – Бухарскую систему каналов, Бухарской и Навоийской областей бесплотинные, и, в связи с этим надежность их функционирования находится в прямой зависимости от гидрологического режима реки[2]. На примере бесплотинного водозабора в КМК установлено, что при ГВ на отметке 243.98 обеспечивается надежное функционирование 6 насосных агрегатов, при ГВ 243.18 – 5 агрегатов, при ГВ 242.88 – 4 агрегата и при ГВ 242.7 – 3 агрегата каскада Каршинской насосной станции. Такие особые условия функционирования бесплотинных водозаборов наблюдаются на водозаборах в Аму – Занг и в Аму – Бухара [1].

В настоящее время только влияние небольшой части эксплуатируемых гидроэнергетических сооружений на р. Вахш (Нурекское водохранилище, Сангтуда 1 и 2) серьезно препятствует Узбекистану в заборе своего лимита воды из р. Амударьи (рис. 1), чем обусловлен дефицит воды для нашей экономики. Вместе с этим на территории сопредельных государств проектируются и строятся еще более крупные гидроэнергетические сооружения с крупными водохранилищами: Рогун с емкостью водохранилища 11.8 км³, Рушан – 5.5 км³, Даштиджума – 17.6 км³, Верхнеамударьинское водохранилище с объемом 15.2 км³.

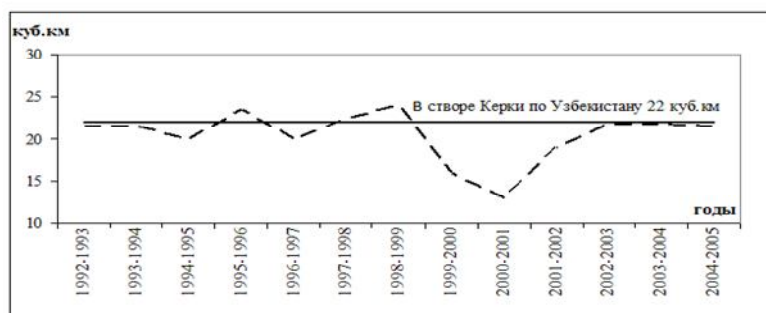


Рис.1. Дефицит водозабора из ствола реки Амударьи в Узбекистане [Источник НИЦ МКВК]:
--- Узбекистан; — Лимит водозабора

Эксплуатация таких сооружений существенно обострит ситуацию с бесплотинными водозаборами: в Аму – Зангском, Каршинском и Аму – Бухарском каскадах насосных станций существуют высокая вероятность выхода их из строя и прекращение водоподачи на территории южных регионов Узбекистана из р. Амударьи. В связи с этим в рамках научно-технической программы в Научно-исследовательском институте ирригации и водных проблем при Ташкентском институте ирригации и мелиорации выполнены исследования «Разработка научно-методических основ устойчивого водообеспечения Республики Узбекистан в условиях обострения водохозяйственной обстановки на трансграничной реке Амударье».

Цель научно-технической программы состояла в установлении водозаборного створа из ствола реки Амударьи, решение которой позволяло надежно и безопасно обеспечить в пределах лимита Узбекистана водой для водоснабжения Сурхандарьинской, Кашкадарьинской, Бухарской и

Навоийской областей республики. Составление схемы водоподачи обеспечит эффективное сопряжение с существующей гидротехнической системой и позволит перевести значительную часть орошаемой площади из машинного орошения в самотечный.

Методика исследований. Методологические основы проводимых нами исследований базируются на системном подходе, так как объект исследований представляет сложную единую экологическую систему, функционирующую в условиях комплекса природных и антропогенных факторов. Методы исследований включали в себя проведение лабораторных, полевых и экспедиционных работ. Экспедиционные выезды осуществлялись по сезонам года для изучения гидрологического и гидрохимического режимов водных источников в бассейне реки Амударьи, с отбором проб воды из водных объектов и проведением анализов воды в соответствии с O'zDST 951:2011. «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» [2].

Результаты исследований. Проблемы водозабора из реки Амударьи находились постоянно в поле зрения ученых и специалистов. Так, в разработанных схемах комплексного использования водных ресурсов рассматривались варианты строительства плотинных водозаборов, а также вариант стеснения русла для поднятия горизонта воды в русло реки в целях обеспечения надежного водозабора. В то время, когда рассматривались варианты водозабора из реки, существовали совершенно иные условия использования водных ресурсов реки Амударьи [3]. Тем не менее, предложенные варианты водозаборов, которые предполагали строительство подпорных сооружений, в большинстве случаев отклонялись из-за экологических проблем.

Для установления створа с целью осуществления бесплотинного водозабора в нынешних условиях также необходимо было выполнить ряд условий:

- водозабор также должен быть бесплотинным и условия его функционирования не должны оказывать влияние на территории сопредельного государства;
- русло реки на участке водозабора должно быть устойчивым;
- сток и бытовой горизонт воды реки в условиях 90 %-ной обеспеченности должны быть достаточными для подачи на территорию Узбекистана расчетного расхода воды в пределах отведенного лимита воды;
- химический состав воды на участке водозабора должен соответствовать O'zDST 951:2011. «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» [2].

Проведен анализ космических снимков, фондовых материалов, топографических карт различных масштабов, а также выполнены экспедиционные обследования территории. По результатам исследований найден створ реки, который отвечал всем вышеизложенным требованиям.

Выбранный створ водозабора совпал со створом Заршанского гидроузла. Заршанский гидроузел обозначен схемой комплексного освоения водных ресурсов реки Амударьи (САО Гидропроект 1970 г.) и условия водозабора не оказывают влияние на территорию сопредельных государств.



Рис. 2. Новая точка водозабора из реки Амударьи [1]

Предлагаемый новый водозабор на участке реки Амударьи располагается на расстоянии 57.3 км от гидропоста Термез выше по течению реки Амударьи рядом с населенным пунктом Навбахор на территории Сурхандарьинской области.

Расчетный расход воды нового бесплотинного водозабора состоял из расчетных расходов водозаборных сооружений:

- водозабор в насосные станции системы Аму – Занг в Сурхандарьинской области с расходом воды $Q_1=100 \text{ м}^3/\text{с}$;
- водозабор в насосную станцию Жайхун в Сурхандарьинской области с расходом воды $Q_2=95 \text{ м}^3/\text{с}$;
- водозабор в Каршинский каскад насосных станций в Кашкадарьинской области с расходом воды $Q_3=175 \text{ м}^3/\text{с}$;
- водозабор в насосную станцию Хамза-1 в Бухарской области с расходом воды $Q_4=64 \text{ м}^3/\text{с}$;
- водозабор в насосную станцию Хамза-2 в Бухарской области с расходом воды $Q_5=105 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким образом, новый бесплотинный водозабор должен обеспечить подачу расхода воды $Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5=539 \text{ м}^3/\text{с}$.

Произведен анализ гидрографа внутригодовой изменчивости стока реки Амударьи по данным гидропоста Термез в зависимости от различной обеспеченности (рис. 3), который подтверждает положение о том, что водные ресурсы данного створа реки Амударьи вполне достаточны, сток реки составляет более 82 % от планируемого отбора объема воды и для создания бесплотинного водозабора с гидрологической точки зрения нет препятствий.

Анализ геологических и геоморфологических характеристик этой территории дает основание сделать вывод о том, что створ реки на данном участке сложен из скальных грунтов и устойчив. Бытовой горизонт воды на данном участке реки находится на отметке 305.88 м, что позволяет подавать воду самотеком по территории Сурхандарьинской области до территории Республики Туркменистан.

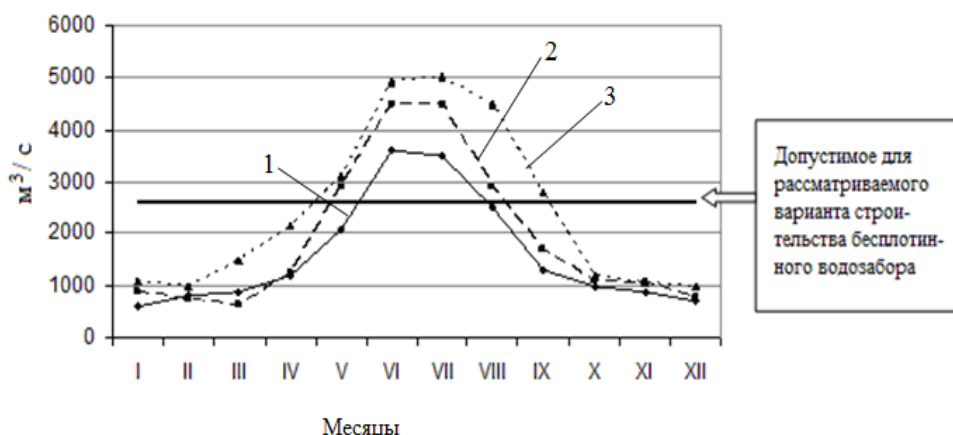


Рис. 3. Внутригодовая изменчивость стока реки Амударьи в зависимости от различной обеспеченности (гидропост Термез) [4]: 1 – 90%; 2 – 50%; 3 – 10%

Для проведения трассы канала от точки водозабора по территории Республики Узбекистан были осуществлены специальные экспедиции для привязки различных вариантов прохождения трассы нового канала к реальному состоянию местности.

Рассмотрено несколько вариантов прохождения трассы канала переброски амударьинской воды:

- самотечный вариант по территории Сурхандарьинской области до ущелья Каракамара;
- от водозабора «Гулбахор» до границы Туркменистана самотечный вариант;
- трасса канала с насосной станцией и переброской воды в Пачкамарское – «Шерабад-Пачкамарское» водохранилище;
- трасса канала по территории Туркменистана и по территории Кашкадарьинской и Бухарской областей (самотечный вариант, ориентир отметки горизонтали 300 м).

Сравнение всех вариантов прохождения канала переброски позволило определить наиболее оптимальный из них самотечный вариант створа – ранее установленный, это Заршанский гидроузел – ущелье Каракамар – через территорию Туркменистана – напорный бассейн насосной станции-4 КМК – Караулбазарский участок АБК.

Установлены гидравлические параметры канала переброски. Вместе с тем, скорость течения воды самотечного канала до КМК намного ниже, чем транспортирующая способность участка канала, что естественно создает условия заиливания канала. Поэтому рассмотрена возможность строительства в начале канала отстойника для обеспечения надежного функционирования систем транспортировки воды до конечной ее точки.

Участок канала от КМК до Караулбазара будет проходить с уклонами, которые могут создать скорости, намного превышающие размывающую скорость потока. В связи с этим предлагаются различные варианты защиты канала от возможного размыва. Изучены различные схемы сопряжения трассы нового канала с существующей гидротехнической системой. В предложенных вариантах, прежде всего, учтены экологические и иные требования, которые минимизируют ущерб окружающей природе и важным народнохозяйственным объектам, а также объектам гражданского строительства.

Таким образом, разработанные по результатам научных исследований научно-технические меры, включающие новый створ бесплотинного водозабора и трассу нового канала подачи воды к южным регионам Узбекистана, обеспечивают надежность и безопасность водоснабжения республики в условиях обострения водохозяйственной обстановки на трансграничной реке Амударье. Новая гидротехническая система водоснабжения исключает необходимость использования крупных земляных насосных установок, предназначенных для расчистки русла к Аму – Зангской, Каршинской и Аму – Бухарской насосным станциям. Новая трасса канала также позволяет исключить необходимость эксплуатации таких насосных станций, как Жайхун в Сурхандарьинской области, четыре ступени насосных станций Каршинского каскада насосных станций, насосные станции Хамза-1 и Хамза-2 в Бухарской области, и тем самым сэкономить достаточно большое количество энергоресурсов для Узбекистана. Новая точка забора и система водоподачи способствуют решению проблемы надежного и безопасного питьевого водоснабжения населения южных регионов, особенно Бухарской и Навоийской областей. Проблема переброски такого объема речной воды всегда была серьезной и дорогостоящей мерой, тем не менее, планы, которые осуществляются странами на верховьях трансграничной реки Амударьи, обязывают нас обратить на эту важную проблему особое внимание.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Научно-технический отчет по мегапроекту А7-ФА-1-15518 «Разработка научно-методических основ устойчивого водообеспечения Республики Узбекистан в условиях обострения водохозяйственной обстановки на трансграничной реке Амударье». Заключительный. Ташкент, 2014. – 298 с.
- [2] O'zDST 951:2011. «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические требования и правила выбора». Ташкент, 2011. – 16 с.
- [3] Ирригация Узбекистана. Ташкент: Фан, 1979. Т. 3. С. 96 – 101.
- [4] Makhmudov E. J., Sherfedinov L. Z., Makhmudov I. E. Problems of water resource management in Central Asia Transboundary Water Resources: A Foundation for Regional Stability in Central Asia. P.O. Box 17,3300AA Dordrecht, The Netherlands, Springer, 2007. P. 11 – 28.

НИИ ирригации и водных проблем при ТИИМ

Дата поступления
03.04.2015

Э.Ж. Махмудов, Е.Шерматов, И.А. Усманов. Трансгегаравий дарё Амударёдан Ўзбекистонни сув билан барқарор таъминлашнинг илмий-техник тадбирларини яратиш

Мақолада Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва территориясини Амударёдан ишончли ва ҳавфсиз сув билан таъминлаш учун яратилган илмий техник тадбирлар келтирилган. Амударёдан Ўзбекистонни сув таъминотида сувнинг лимит чегарасида барқарорлигини таъминлашда мавжуд учта тўғонсиз сув чиқариш иншоотларига алтернатив сифатида битта сув чиқариш иншооти таклиф этилади. Янги тўғонсиз сув тарқатиш иншооти бизнинг Республикамиз учун қўшни давлатлардан оқиб келадиган дарё сувларини негатив таъсирларини ножўя оқибатларини олдини олади. Шу билан бирга таклиф этилаётган янги сувни транспортировка қилиш гидротехник тизими ҳозирги кунда катта насос стациялари билан сугорилаётган ҳудудларни бир қисмини ўз оқими билан сугоришга ўтишга имконият яратади.

E.J. Makhmudov, E.Shermatov, I.A.Usmanov. Scientific and technical measures of foundation a sustainable water supply of Uzbekistan from transboundary river Amudarya

The article describes the scientific and technical measures for providing a reliable and safe water supply of the territory of the Republic of Uzbekistan from the trunk of the Amudarya. A single stable intake that will ensure water within the limit of the Amudarya is proposed as alternative to the existing three damless intakes. New damless intake prevents negative consequences for our Republic negative impact on the river flow from the neighboring states. With this proposed new hydraulic water transporting system facilitates the transition of a certain part of the territory which is currently irrigated by large pumping stations to gravity irrigation. Thereby significant saving of electrical energy consumed at present for large irrigation pumping stations is achieved.

УДК 677.025

Ш.К. УСМОНКУЛОВ, М.М. МУКИМОВ, А.Д. ДЖУРАЕВ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЖЕНИЯ НАПРАВИТЕЛЯ В ЗОНЕ ОТТЯЖКИ ПЕТЕЛЬ В ТРИКОТАЖНОЙ МАШИНЕ

Основным направлением исследований является обоснование параметров (положение установки направителя) зоны оттяжки петель цилиндра и диска, позволяющие получение равных натяжений петли цилиндра и петли диска. При этом обеспечивается необходимая равномерность структуры получаемого трикотажа. В работе [1] были приведены выражения для определения расстояний установки кольцевидного направителя петель от верхней грани диска $A_{ДК}$ и цилиндра $A_{ЦН}$:

$$A_{ДК} = (B_{ДК} + r_d \cos \xi_1) \cdot \operatorname{tg} \gamma'_1 + h_d + r_k \sin \xi_1, \quad (1)$$

$$A_{ЦН} = \frac{(d_{ЦН} - d_{ксп})/2 - h_u + r_k \cos \xi}{\operatorname{tg} \gamma_2} + r_k \sin \xi, \quad (2)$$

где $B_{ДК}$ – расстояние от направителя до диска; r_d – радиус диска; ξ, ξ_1 – углы обхвата нитью направителя; γ_1, γ'_1 – углы между петлей и диском и петлей и цилиндром; r_k – радиус колеса направителя; $d_{ЦН}$ – диаметр цилиндра; $d_{ксп}$ – расстояние от цилиндра до направителя; h_u – толщина цилиндра.

В предлагаемой схеме оттяжки петель диска и цилиндра устанавливается направитель цилиндрической формы (рис. 1). При этом важным является определение положения установки направителя, при котором обеспечивается условие $T_4 = T'_4$ (натяжения петель цилиндра и диска). Для этого с целью выбора углов γ_1 и γ'_1 целесообразным считается определение ординат установки направителя в зоне оттяжки трикотажной машины. Эти расстояния рассчитываем согласно формулам (1) и (2) при определенных в работе [2] натяжениях петель цилиндра и диска. Согласно полученным в работе [1] натяжениям петель цилиндра и диска, а также выражениям для расчета $A_{ДК}$ и $A_{ЦН}$, приняли следующие исходные значения параметров: $\omega = 394$ 1/с; $f = 0.4$, $\alpha = 100^\circ - 130^\circ$; $\beta_1 = 40^\circ - 60^\circ$; $\beta_2 = 55^\circ - 65^\circ$; $\rho = 20$ текс; $g = 9.8$ м/с²; $l_{вс} = 6$ мм; $l'_{вс} = 2$ мм; $e = 2.72$; $\beta'_1 = 40^\circ - 50^\circ$; $\alpha' = 100^\circ - 136^\circ$; $\theta = 25^\circ - 35^\circ$; $\theta' = 19^\circ - 30^\circ$; $\theta_1 = 20^\circ - 36^\circ$; $\theta'_1 = 20^\circ - 36^\circ$; $d_{ЦН} = 0.810$ м; $d_{ксп} = 53$ мм; $h_u = 6.0$ мм; $h_d = 2.0$ мм; $r_k = 4.0$ мм; $\xi = 35^\circ$; $B_{ДК} = 58$ мм.

Рассмотрим влияние параметров элементов системы оттяжки петель цилиндра и диска на положение установки направителя петель.

Из полученного выражения (2) видно, что на значения расстояния установки по вертикали направителя петель относительно поверхности цилиндра трикотажной машины влияют значения $d_{ЦН}$, $d_{ксп}$, r_k , γ_1 , ξ . При исходных значениях параметров, при $\gamma_1 = 48^\circ 30'$ расстояние $A_{ЦН}$ получается 123.7 мм. Из рис. 1 и полученных графических зависимостей (рис. 2) видно, что увеличение угла γ_1 приводит к уменьшению $A_{ЦН}$. Так, при увеличении угла γ_1 от 45° до 55° при $r_k = 3.0$ мм расстояние установки направителя петель относительно поверхности цилиндра уменьшается по нелинейной закономерности от 136.5 до 95.1 мм, а при $r_k = 6.0$ мм это расстояние уменьшается от 142.6 до 98.4 мм. При значении $\gamma_1 = 45^\circ - 49^\circ$ расстояние $A_{ЦН}$ находится в пределах 120 – 140 мм, при которых обеспечивается равное натяжение петель цилиндра и диска трикотажной машины.

Из полученных графиков видно, что с возрастанием угла подачи петли диска γ'_1 расстояние $A_{\text{ок}}$ увеличивается по нелинейной закономерности. Так, при изменении γ'_1 от 45° до 55° расстояние $A_{\text{ок}}$ увеличивается от 136 до 186 мм при $r_k=3.0$ мм, а при $r_k=6.0$ мм – от 140.5 до 191 мм. Это показывает, что фактически изменение r_k мало влияет на увеличение расстояния $A_{\text{ок}}$. Подобным образом можно отметить незначительное влияние изменений h_d на увеличение $A_{\text{ок}}$. Для рекомендуемых значений угла подачи петель диска $\gamma'_1=54^\circ - 60^\circ$ расстояние $A_{\text{ок}}$ находится в пределах 186 – 210 мм.

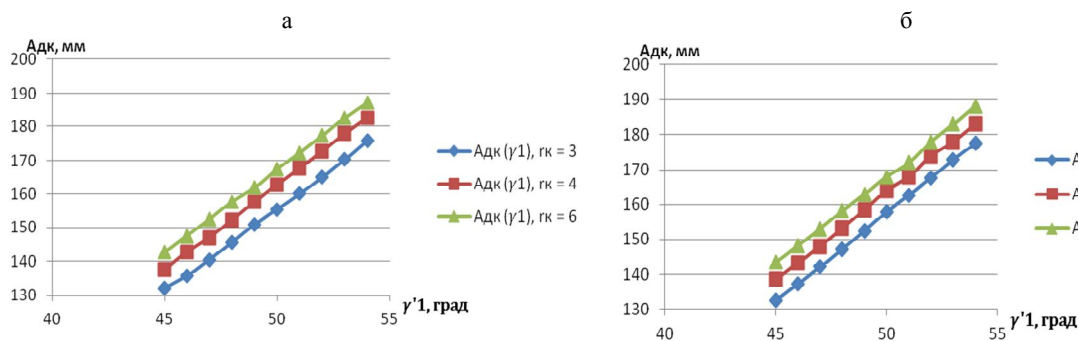


Рис. 4. Закономерности изменения расстояния $A_{\text{ок}}$ при изменении γ'_1 , r_k и d_o

Учитывая рекомендованные значения угла подачи петли диска γ'_1 , варьировали значения расстояния от края диска до оси направителя в горизонтальном направлении и получили законы изменения вертикального значения установки направителя $A_{\text{ок}}$ (рис. 5).

Анализ полученных графиков показывает, что увеличение значений $B_{\text{ок}}$ приводит к значительному возрастанию $A_{\text{ок}}$ по линейной закономерности. Так, при $B_{\text{ок}}=80$ мм при $\gamma'_1=50^\circ$ расстояние $A_{\text{ок}}=92.4$ мм, а при $\gamma'_1=60^\circ$ расстояние $A_{\text{ок}}=97.3$ мм. При увеличении $B_{\text{ок}}$ до 180 мм расстояние $A_{\text{ок}}$ при $\gamma'_1=50^\circ$ возрастает до 196.4 мм, а при $\gamma'_1=60^\circ$ – достигает 222.5 мм. Таким образом, для обеспечения равноты натяжений петель диска и цилиндра трикотажной машины, позволяющей получение качественного трикотажа, рекомендуемыми значениями параметров зоны оттяжки являются: $\gamma_1=44^\circ - 49^\circ$, $\gamma'_1=54^\circ - 60^\circ$, $\beta=50^\circ - 55^\circ$, $\beta_1=45^\circ - 50^\circ$, $r_k=4.0 - 5.0$ мм, $B_{\text{ок}}=125.0 - 155.0$ мм, $\alpha=100^\circ - 115^\circ$, $\alpha'=105^\circ - 115^\circ$, $f=0.4$, $T_{\text{ср}}=T'_{\text{ср}}=0.15$ Н, $A_{\text{ин}}=125 - 130$ мм, $A_{\text{ок}}=186 - 210$ мм.

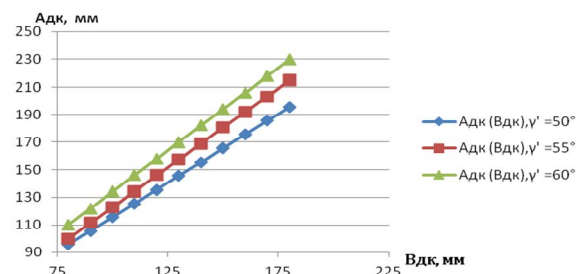


Рис. 5. Закономерности изменения расстояния $A_{\text{ок}}$ при изменении $B_{\text{ок}}$ и γ'

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мукимов М., Джураев А.Д., Усмонкулов Ш.К., Алланиязов Г.Ш. Определение натяжения петель полотна при оттягивании на двухфунтурной трикотажной машине // Сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции «Современные инновации в науке и технике». Юго-Западный государственный университет. Курск. Россия. 17 апреля 2014г. Т. 3. С. 127 – 130.
- [2] Усмонкулов Ш.К., Алланиязов Г.Ш., Джураев А.Д., Мукимов М.М., Баубеков С.Д. Направитель для оттяжки трикотажного полотна на двухфунтурных кругловязальных машинах // Международная научно-практическая конференция «Тюркская цивилизация в эпоху глобализации: взаимосвязь тысячелетний». Таразский инновационно-гуманитарный университет. Тараз. Казахстан. 17 мая 2014г.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Дата поступления
12.12.2014

Ш.К. Усмонкулов, М.М. Мукимов, А.Д. Джураев. Трикотаж машинаси ҳалқаларини тортиши зонасида йўналтиргични йўналтириш параметрларини асослаш
Мақолада трикотаж машинаси цилиндр ва диск ҳалқаларини тортиши зонасида йўналтиргични йўналтириш параметрларини асослаш методикаси келтирилган.

УДК 551.513.22

У.А. ШЕРМУХАМЕДОВ

РАВНОВЕСНОЕ И КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ДВУМЕРНОГО ТЕЧЕНИЯ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Известно, что турбулентность – явление, которое встречается в чрезвычайно разнообразных условиях, как в прикладных (например, в аэродинамике, гидравлике, военно-морском деле и химическом производстве), так и в естественных ситуациях (в геофизике, особенно в метеорологии и океанографии, и в астрофизике).

В настоящее время существуют различные сценарии объяснения турбулентности или перехода к турбулентности [1].

В 1976 г. американский специалист в области математической и теоретической физики Митчел Фейгенбаум сделал открытие, состоящее в том, что сценарий перехода к хаосу через бесконечный каскад бифуркаций удвоения периода универсален для большого класса динамических систем.

Сценарий возникновения турбулентности по Ландау состоит в том, что в турбулентном течении возникает много различных независимых колебаний с несоизмеримыми частотами. При этом каждое из колебаний может быть простым, но их совокупность приводит к непредсказуемой сложности движения.

Д. Рюэль (Франция) и Ф. Такенс (Нидерланды) возникновение турбулентности связывали с появлением странного аттрактора, который возникал после небольшого числа (трех) бифуркаций. Странным аттрактором называется объект в фазовом пространстве, к которому стремятся все или почти все траектории и на котором они неустойчивы.

В последнее время внимание специалистов различных направлений привлекает система уравнений, получившая название модели Лоренца. Система уравнений Лоренца является простейшей (трехмодовой) моделью конвективной турбулентности. В классической задаче о плоском слое жидкости, подогреваемом снизу, эта система выделяется из более полной системы уравнений, если ограничиться первыми пространственными гармониками компонент скорости, нулевыми, первыми и вторыми пространственными гармониками температуры [2, 3]. Очевидно, что вследствие этих ограничений система Лоренца справедлива лишь вблизи порога возникновения конвективных валов, т.е. при значениях R , близких к единице. При больших R следует учитывать более высокие пространственные гармоники [4,5].

Покажем, как получаются уравнения для этих моделей. Рассмотрим двумерное течение несжимаемой жидкости под действием пространственно периодической внешней силы f , которую можно представить в виде конечного числа членов ряда Фурье [6]

$$f = \sum_{k \in L} (k_{\perp} / |k|) f_k \exp(ikx), \quad (1)$$

где $x = \{x_1, x_2\}$, $k = \{h_1, h_2\}$ – волновой вектор с целыми компонентами, $k_{\perp} = \{h_2, -h_1\}$; L – множество $2N$ векторов таких, что если $k \in L$, то и $-k \in L$. Коэффициенты f_k удовлетворяют условию

$$f_k = -f_{-k}^*.$$

Такое движение жидкости описывается уравнением непрерывности

$$\operatorname{div} U = 0 \quad (2)$$

и уравнением Навье — Стокса

$$\frac{\partial U}{\partial t} + (U \nabla) U = \nabla p + \nu \Delta U + f, \quad (3)$$

где $U = \{u, v\}$ – вектор скорости; ν – кинематическая вязкость; p – давление.

Решение уравнений (2), (3) в соответствии с (1) можно искать в виде [5]

$$U(x) = \sum_{k \in L} (k_{\perp} / |k|) \gamma_k \exp(ikx), \quad (4)$$

где $\gamma_k = -\gamma_{-k}^*$. Решение (4) автоматически удовлетворяет уравнению (2).

Подставляя (4) и (1) в уравнение (3) и принимая для конвективного течения $p = \text{const}$, тем самым исключая давление, получим

$$\dot{\gamma}_k = -i \sum_{\substack{k_1 + k_2 = k \\ k_1, k_2 \in L}} \frac{(k_{1\perp} k_2) (|k_2|^2 - |k_1|^2)}{2|k_1| |k_2| |k|} \gamma_{k_1} \gamma_{k_2} - \nu |k|^2 \gamma_k + f_k. \quad (5)$$

Пусть L — множество векторов $k_1 = (1, 1)$, $k_2 = (3, 0)$, $k_3 = (2, -1)$, $k_4 = (l, 2)$, $k_5 = (0, 1)$, $k_6 = (2, 2)$, $k_7 = (l, -2)$, а сила f не зависит от времени и содержит лишь одну пространственную гармонику с волновым вектором k_3 , т. е. $f = (k_{3\perp} / |k_3|) f_{k_3} \cdot \exp(ik_3 x)$. В этом случае уравнение (5) имеет частное решение вида

$$\begin{aligned} \gamma_{k_1} &= aX_1, \gamma_{k_2} = -iaX_2, \gamma_{k_3} = aX_3, \gamma_{k_4} = iaX_4, \\ \gamma_{k_5} &= aX_5, \gamma_{k_6} = iaX_6, \gamma_{k_7} = iaX_7, \end{aligned}$$

где $a = 10\nu\sqrt{2}$, $X_1, X_2, \dots, X_7$ — действительные величины, удовлетворяющие уравнениям

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= -2X_1 + 4\sqrt{5}X_2X_3 + 4\sqrt{5}X_4X_5, \quad \dot{X}_2 = -9X_2 + 3\sqrt{5}X_1X_3 + 3\sqrt{5}X_6X_7, \\ \dot{X}_3 &= -5X_3 + 9X_1X_7 - 7\sqrt{5}X_1X_2 + R, \quad \dot{X}_4 = -5X_4 - \sqrt{5}X_1X_5, \\ \dot{X}_5 &= -X_5 - 3\sqrt{5}X_1X_4, \quad \dot{X}_6 = -8X_6 - 4\sqrt{5}X_2X_7, \quad \dot{X}_7 = -5X_7 + \sqrt{5}X_2X_6 - 9X_1X_3, \end{aligned}$$

где точка означает дифференцирование по времени $\tau = \nu t$, $R = f_{k_3}/a$ — аналог числа Рейнольдса.

Уравнения пятимерной модели получаются из (5), если в множестве L ограничиться пятью волновыми векторами k_1, k_2, k_3, k_4 и k_5 :

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= -2X_1 + 4\sqrt{5}X_2X_3 + 4\sqrt{5}X_4X_5, \quad \dot{X}_2 = -9X_2 + 3\sqrt{5}X_1X_3, \\ \dot{X}_3 &= -5X_3 - 7\sqrt{5}X_1X_2 + R, \quad \dot{X}_4 = -5X_4 - \sqrt{5}X_1X_5, \quad \dot{X}_5 = -X_5 - 3\sqrt{5}X_1X_4. \end{aligned}$$

Подобно можно получить уравнения трехмерной модели:

$$\dot{X}_1 = -2X_1 + 4\sqrt{5}X_2X_3, \quad \dot{X}_2 = -9X_2 + 3\sqrt{5}X_1X_3, \quad \dot{X}_3 = -5X_3 - 7\sqrt{5}X_1X_2 + R.$$

Решая эти модели, используя пакет ode45 программной среды Matlab®7.11.0(R2010b), мы проанализировали изменения параметров $x(i)$ при $R = 1 - 20, 200$ и 2000 .

На рис.1 приведены зависимости изменения значений $x(3)$ от времени (час) трехмерной модели для $R = 1$ при начальных данных $x_0(1) = x_0(2) = x_0(3) = -3$ и $x_0(1) = x_0(2) = x_0(3) = 3$.

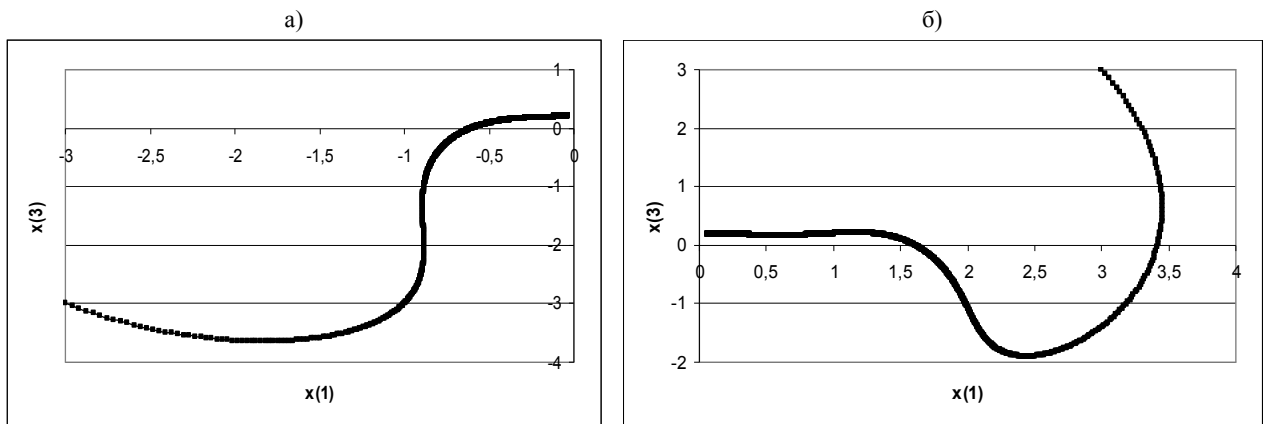


Рис. 1. Зависимости изменения $x(3)$ от $x(1)$: а — при начальных данных $x_0(1) = x_0(2) = x_0(3) = -3$; б — $x_0(1) = x_0(2) = x_0(3) = 3$

Анализ данных показывает, что в случае а) график в пределе стремится к точке $(-0.06; 0.2)$, а в случае б) график стремится к точке $(0.06; 0.2)$, т.е. все графики в пределе стремятся к двум точкам, симметричным относительно оси $x(3)$. Эту же картину можно наблюдать для данных, полученных при $R=10$, где графики стремятся соответственно к точкам $(-2.2; 1.22)$ и $(2.2; 1.22)$.

Увеличивая R и анализируя полученные данные, мы установили, что при $R=1 - 18$ система является устойчивой и при дальнейшем его увеличении равновесное состояние нарушается и система переходит в колебательное состояние.

На рис. 2 приведены результаты расчетов для $R=200$ и $R=2000$ при начальных данных $x_0(1)=x_0(2)=x_0(3)=-3$. Графики имеют колебательный характер и увеличивающиеся с ростом R симметричные предельные циклы.

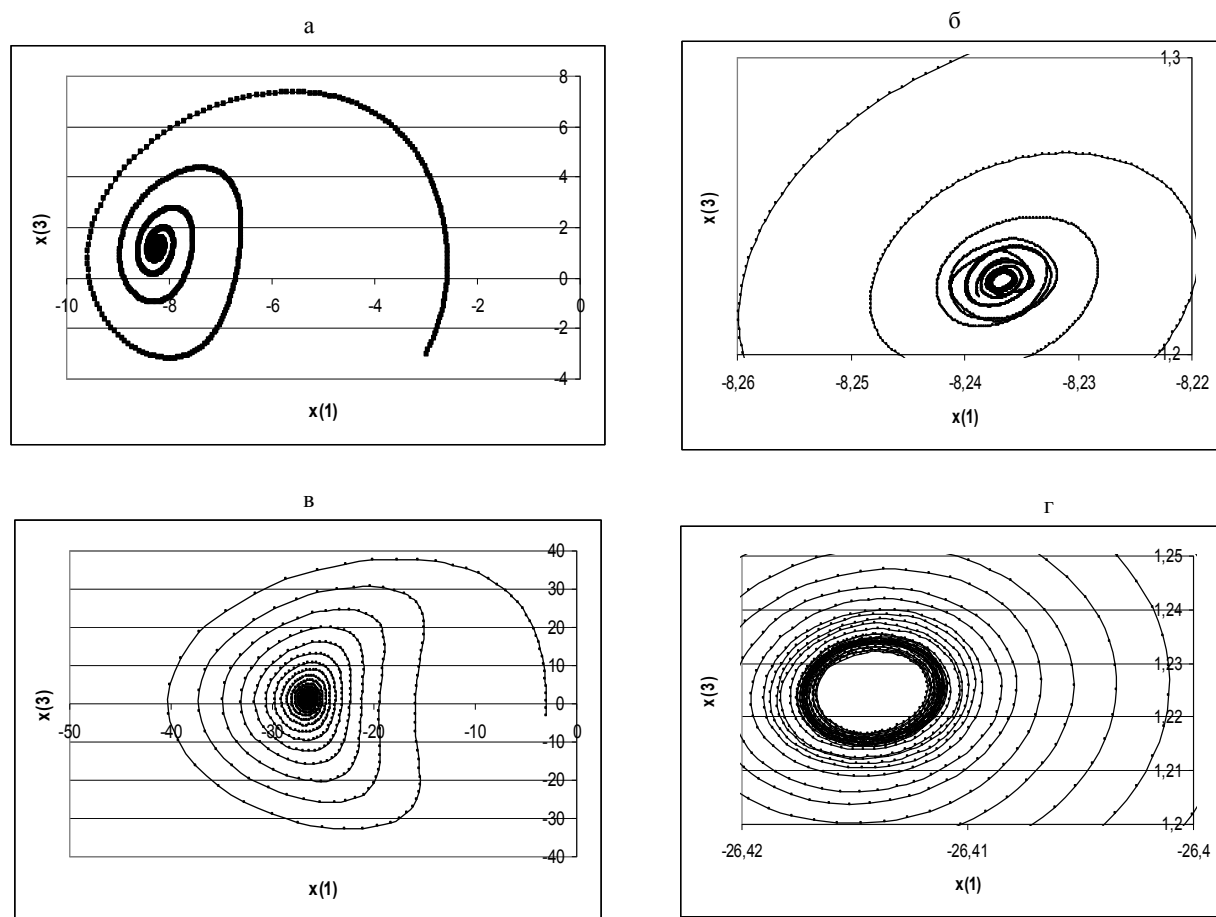


Рис. 2. Зависимости изменения $x(3)$ от $x(1)$: а – общий вид при $R=200$; б – предельный цикл при $R=200$; в – общий вид при $R=2000$; г – предельный цикл при $R=2000$

Анализ результатов для трехмерной модели показал, что при значениях $R=1 - 18$ система имеет устойчивое равновесное состояние, все графики в пределе стремятся к двум симметричным узловым точкам.

При $R>18$ равновесное состояние системы нарушается и она переходит в колебательное состояние. Графики в этом случае стремятся к предельным циклам, причем с ростом значения R увеличиваются амплитуда колебаний и размеры предельных циклов.

Подобный анализ был проведен для пятимерной модели.

Изменения значений $x(i)$ от времени для $R=1$ при начальных данных $x_0(i)=-3$ и $x_0(i)=3$, $i=1 - 5$ показали, что они, как и при трехмерной модели, имеют аperiodический характер и сходятся в симметричных узловых точках $(0.0015; 0.0001)$ и $(-0.0015; -0.0001)$. Эту же картину можно наблюдать для данных, полученных при $R=10$. Графики стремятся соответственно к точкам $(1.16; 0.03)$ и $(1.16; -0.03)$.

Увеличивая R и анализируя полученные данные, мы установили, что и для пятимерной модели при $R=18$ система является устойчивой и при дальнейшем его увеличении равновесное состояние нарушается и система переходит в колебательное состояние в виде симметричных предельных циклов.

Анализ семимерной модели показал, что в отличие от трехмерной и пятимерной моделей для этой модели система имеет устойчивое равновесное состояние при значениях $R=1-13$. В частности, для зависимости $x(4)$ от $x(1)$ при $R=1$ графики сходятся в двух симметричных узловых точках $(-0.00005; 0.0000006)$ и $(-0.00005; -0.0000006)$. Эту же картину можно наблюдать для данных, полученных при $R=10$. Графики стремятся соответственно к точкам $(0.55; -0.14)$ и $(-0.55; -0.14)$. При $R>13$ равновесное состояние системы нарушается и она переходит в колебательное состояние.

Таким образом, на основе обобщенной многомерной модели двумерного течения несжимаемой жидкости под действием пространственно периодической внешней силы получены и реализованы семи-, пяти- и трехмерные модели с использованием пакета `ode45` программной среды `Matlab®7.11.0(R2010b)`. Определены критерии равновесного устойчивого (ламинарного) движения жидкости и перехода к колебательному движению при различных начальных условиях и значениях числа Рейнольдса.

Установлено, что для трехмерной и пятимерной моделей при значениях $R=1-18$ система имеет устойчивое равновесное состояние, все графики в пределе стремятся к двум симметричным узловым точкам. Для семимерной модели система имеет устойчивое равновесное состояние при $R=1-13$. При $R>18$ ($R>13$) равновесное состояние системы нарушается и она переходит в колебательное состояние. Графики в этом случае стремятся к предельным циклам, причем с увеличением значения R увеличиваются амплитуда колебаний и размеры предельных циклов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Трубецков Д. И. Турбулентность и детерминированный хаос. Соросовский образовательный журнал. 1998. № 1. С. 77 – 83.
- [2] Ланда П. С. Автоколебания в распределенных системах. М.: Эдиториал УРСС, 2010. – 320 с.
- [3] Неймарк Ю. И., Ланда П. С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987. – 424 с.
- [4] Maschke E. K., Saramito B. On the Transition to Turbulence in Magneto-Hydrodynamic Models of Confined Plasmas // *Physica Scripta*. 1982. V. 2. T 2. P. 410 – 417.
- [5] Franceschini V. Bifurcations of Tori and Phase Locking in a Dissipative System of Differential Equations // *Physica D*. 1983. V. 6 D. No 3. P. 285 – 304.
- [6] Lan Y., Li Y. C. On the Dynamics of Navier-Stokes and Euler Equations // *J Stat Phys*. 2008. V. 132. P. 35 – 76.

Специальное конструкторское бюро «Трактор»

Дата поступления
16.09.2014

У.А. Шермухамедов. Сиқилмайдиган суюқликнинг икки ўлчовли ҳаракатини мувозанатли ва тебранма ҳолати

Matlab®7.11.0(R2010b) дастурлаш комплексининг `ode45` пакетидан фойдаланган ҳолда фазовий периодик ташиқ куч таъсирида сиқилмайдиган суюқликнинг икки ўлчовли ҳаракати ечимининг умумлашган кўп ўлчовли модели асосида етти, беш ва уч ўлчовли моделлар олиниб ечилган. Турли бошланғич шартлар ва Рейнольдс сонининг қийматларида суюқлик ҳаракатининг мувозанатланган турғун ҳаракати (ламинар) ва тебранма ҳаракатга ўтиши мезонлари аниқланган.

U.A. Shermukhamedov. Equilibrium and oscillatory behaviour a two-dimensional current of an incompressible liquid

On the basis of the generalised multidimensional model of the decision of a two-dimensional current of an incompressible liquid under the influence of spatially periodic external force, are received and realised seven, five and three-dimensional models with package use `ode45` bundled software `Matlab®7.11.0 (R2010b)` environment. Criteria of equilibrium steady (laminar) movement of a liquid and transition to oscillatory movement are defined at various entry conditions and values of number of Reynolds.

В порядке обсуждения

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

В Республике Узбекистан возникли проблемы эксплуатации систем с передвижными и стационарными средствами водоподъёма. К 2015 г. мощность основного насосно-энергетического оборудования, отработавшего парковый (заводской) ресурс, составила по крупным насосным станциям (НС) более 70 % установленной мощности. В условиях срочной реновации должна быть определена стратегия эксплуатации, направленная на поддержание необходимых надёжных и экономических параметров их основных элементов. Определение «лимитирующих» элементов основного оборудования в изменившихся условиях эксплуатации является чрезвычайно актуальной задачей начала XXI в. [1].

Более половины аварий и отказов вызваны физическим износом узлов рабочего колеса (РК), камеры РК, подшипников, т.е. основных узлов, восстановление которых требует полной разборки с выводом их из эксплуатации на длительный период. Снижается средневзвешенный КПД, ухудшаются рабочие характеристики, уменьшаются подача и напор насосов.

Увеличиваются объёмы обратных утечек воды (перетекание из напорной части во всасывающую через конструктивные зазоры, клапаны и др.). Для сравнительной оценки этих утечек вводится понятие объёмного КПД $\eta_0 = Q/Q_T$, где Q – действительная подача; Q_T – теоретическая подача.

Вводятся понятия теоретической полезной мощности $N_T = 0.001 \rho g Q_T H_T$ и механического КПД насоса $\eta_M = N_T / N$.

Данные параметры полностью характеризуют отдельные элементы с точки зрения их функциональности и зависимости с другими узлами насоса.

Основными недостатками ранее созданных насосов являются:

- большой механический износ корпусных частей уплотняющих элементов, пар трения;
- эрозионный, кавитационный и абразивный износ РК и корпусов;
- применение низкосортной, некачественной уплотнительной набивки.

При проектировании современных центробежных насосов допускается усложнение их конструкций. Например, европейский центробежный насос содержит корпус с двигательным и всасывающим патрубками и устройство для закручивания потока на входе в РК [1, 2]. Недостатком таких насосов является то, что закручивается не весь поток периферийной области. Это создаёт обратные водоворотные зоны. Авторами создан ряд новых центробежных насосов с высокими требованиями к кавитационным качествам [3].

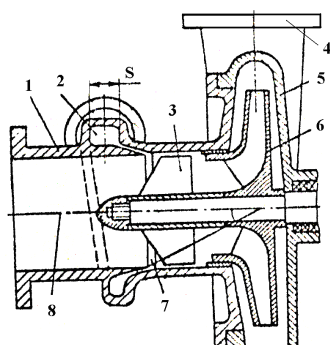


Рис. 1. Центробежный насос с нагнетательным и всасывающим патрубками

Для повышения равномерности закрутки потока по периферии в одной конструкции канал выполнен кольцевым, а камера имеет площадь проходного сечения, уменьшающуюся в направлении движения в ней потока воды. На рис. 1 изображен продольный разрез насоса.

Центробежный насос содержит корпус 5 с нагнетательным и всасывающим патрубками 4 и 1, устройство для закручивания потока у колеса 6 в виде камеры 2, связанной с нагнетательным патрубком 4, охватывающей всасывающий патрубок 1 и канал 7, расположенных под острым углом к оси 8 насоса и ориентированных к РК 6, причем канал 7 выполнен кольцевым, а камера 2 имеет площадь S проходного сечения, уменьшающуюся в направлении движения в ней потока воды.

При работе насоса на частичных подачах вода, поступающая через канал 7, закручивает периферийную область потока на входе крыла 3. Этим достигается при изменении подачи постоянство угла натекания потока на лопасти крыла 3, что обеспечивает отсутствие кавитационных разрушений.

КПД рабочего процесса нового насоса определяется

$$\eta = \frac{Q}{S\omega_k}, \quad (1)$$

где Q – расход воды в боковом канале (подача насоса); S – статический момент площади бокового канала относительно оси РК; ω_k – угловая скорость РК.

Расчет КПД новых насосов по геометрическим характеристикам рабочих органов и сравнение их с действительными значениями показывают, что действительный КПД меньше вычисленного по формуле (1) на 3 – 10 % [2]. Таким образом, по формуле (1) определяется предельно достижимое (теоретическое) значение КПД нового насоса.

Если представить движение воды в боковом канале с окружной скоростью $u_{жс}$ как вращение относительно оси насоса с угловой скоростью $\omega_{жс}$, т.е. $u_{жс} = \omega_{жс} \gamma_{цТ}$, где $\gamma_{цТ}$ – радиус центра тяжести площади бокового канала, получаем $Q = F u_{жс}$ и $S = F \gamma_{цТ}$, которое совпадает с гидравлическим КПД.

Повышение давления в боковом канале нового насоса определяется только потерями энергии в струйке воды. Этот вывод сегодня используется при построении моделей и расчетных схем нового насоса с отверстиями в пластинах (рис. 2).

В реальном насосе вследствие возрастания утечек по пластинам действительный КПД меньше объёмного: $\eta \leq \eta_{об}$, т.е. $\eta = \eta_{об}$.

Построим характеристики насоса с отверстиями в пластинах. Используем следующие обозначения: Q – подача идеального насоса (без отверстий в пластинах): $Q = Q_c + Q_{обр}$ (Q_c – подача в сеть; $Q_{обр}$ – утечки через отверстия. При работе насоса на открытый нагнетательный патрубок (напор равен нулю) подача насоса Q_c будет несколько ниже, чем Q , из-за наличия отверстий в пластинах. Напор насоса будет равен сумме гидравлических потерь в обратном потоке:

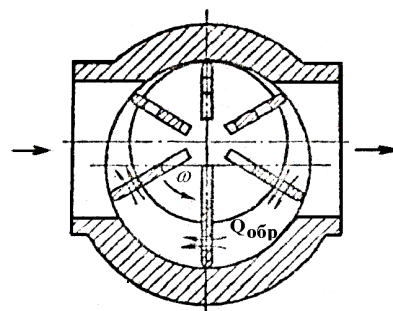


Рис. 2. Схема модернизированного насоса с отверстиями в пластинах

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \sum h_r, \quad (2)$$

где P_1 , P_2 – давление во всасывающем и нагнетательном патрубках; $\sum h_r$ – гидравлические потери в обратном потоке на отверстиях в пластинах.

Значение утечки определяется как

$$Q_{обр} = \mu f \sqrt{2gH}, \quad (3)$$

где f – площадь отверстия; μ – эквивалентный коэффициент расхода; H – напор насоса.

Испытания нового насоса проводились на испытательном стенде ИС-1 в соответствии с методикой периодических испытаний на основе ИСО 9906:1999.

Характеристики насоса Д 2000 - 21 снимались в интервале подач от 0 до максимальной подачи при подтопленном РК насоса 2.0 м, исключая кавитацию, в соответствии с техническими условиями ТШ 46.31-16:2002.

Рабочие характеристики нового насоса с рабочим колесом диаметром $D_{рк} = 425$ мм показали значения КПД (η_H %) расчётные – 80.1 – 83.0, фактические – 80.7 – 86.4, отклонение +3.4...+0.6. В процессе испытаний вибрации и шума не наблюдалось. Рабочий диапазон подачи воды при частоте вращения ротора $n = 985$ мин⁻¹ составляет от 1188 до 2125 м³/ч. Эти характеристики показывают необходимость применения конструкций новых насосов расширенных параметров при модернизации ирригационных насосных станций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гловацкий О.Я., Эргашев Р.Р., Рустамов Ш.Р. Новые конструкции рабочих органов и всасывающих труб ирригационных насосов // Центральноазиатская международная научно-практическая конференция. Ташкент; Алматы, 2012. С. 136 – 139.
- [2] Glovatsky O.Ya., Ergashev R.R., Rustamov Sh.R. Improvement to usages and studies large pumping station. LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken, 2013. – 170 p.
- [3] Центробежный насос № FAP 00940. Гловацкий О.Я., Рустамов Ш.Р. Фойдали моделлар // Расмий ахборотнома. 2014. № 8.

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем

Дата поступления
25.06.2015

О.Я. Гловацкий, Р.Р. Эргашев, Ш.Р. Рустамов. Медернизациялашган маркадан қочирма насоснинг конструктив хусусиятлари

Мақолада янги насосларда шичи аъзоларининг геометрик характеристикасида конструкциялар ва ФИК ҳисоби ва уларни ҳақиқий аҳамиятини солиштириши баён этилган. Янги насосларда юқори ФИК моделлар синовларида қайд этилган 80.7 – 86.4 %.

O.Y. Glovatski, R.R. Ergashev, Sh.R. Rustamov. Design features of upgraded centrifugal pump

In article is described designs and calculation coefficient of efficiency new pump on geometric feature worker organ and comparison them with real importance's. Under model test are fixed high coefficient of efficiency new pump 80.7 – 86.4 %.

УДК 656.131:681.5.03

Ж.Ш. ИНОЯТХОДЖАЕВ, Ф.Ш. УМЕРОВ

МЕХАТРОННЫЕ ИННОВАЦИИ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Мехатроника в автомобилестроении – область относительно новая, однако, применение элементов в том виде, как характеризовалось до недавнего времени, получило своё распространение ещё в 70-е годы прошлого столетия, когда появились антиблокировочные системы автомобиля. В то время автомобильную мехатронику характеризовали синергия механики и электроники. Современная мехатроника – это более широкое понятие. Она основана на синергетическом объединении механики, силовой электроники, программируемых контроллеров, микропроцессоров и программного обеспечения (рис. 1) [1].

В последние годы основные инновации в системах автомобиля связаны с электроникой. Эти инновации (рис. 2) не только имеют электронную составляющую как систему навигации дистанционного слежения, но и связаны с механическими частями автомобиля.



Рис.1. Схема интеграции составляющих современной мехатроники

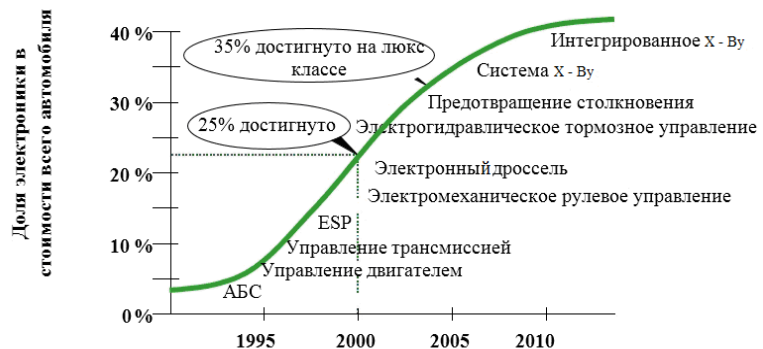


Рис. 2. Инновации в мехатронике автомобиля

Три основные части автомобиля – силовая, шасси и интерьер модернизируются путем изменения механических элементов, а также внедрением в них электронного управления [2].

Движущей силой такого рода изменений служит требование к улучшению функций и эффективности с использованием электроники. Естественно, применение достижений современной

электроники существенно меняет цену компонентов, и часто это приводит к удорожанию конструкции и продукта в целом. Однако такие финансовые издержки компенсируются улучшением безопасности, комфорта, функциональности. Часто косвенно затраты компенсируются за время эксплуатации, например, в случае замены механического дросселя электронным, что приводит к подорожанию силового агрегата примерно на 5 %, топливная экономичность улучшается от 8 до 30 % в зависимости от конструкции. Например, при внедрении на автомобиль новый Ласетти (Джентра), производимый в Узбекистане, электронного дросселя и новых мехатронных элементов средний расход топлива при городском цикле снизился с 10.5 л/100 км пути до 8.5 л/100 км пути.

Мехатроника автомобиля – это не только механические и электронные элементы, это синергетические сложные узлы нескольких инженерных дисциплин из механики актуаторов (инжектора, соленоиды), электроники, датчиков, элементов управления и систем коммуникаций электроники.

На рис.3 – распределение цены по электронным и механическим компонентам автомобиля до внедрения мехатронных модулей. Как видно, 50% всей стоимости составляет стоимость электронных компонентов. В свою очередь доля электрокомпонентов, связанных с действием механических компонентов, составляет также 50%. В основном, это кабели, коннекторы, монтажные платы, корпуса и т.п. [3].

Одно из преимуществ мехатроники, внедренной в автомобиле, – сокращение стоимости механических частей электронных элементов путем совмещения соответствующих элементов по назначению и конструкции. Синергетическим аспектом является ориентация на анализ выходных параметров и функций схожих элементов по механическим, электронным и программным параметрам.

Автопроизводители инвестируют большие средства для совершенствования мехатронных систем двигателей внутреннего сгорания. Такие новые решения позволяют соответствовать ужесточающимся требованиям к выбросам отработавших газов. Несмотря на то, что это ведет к удорожанию автомобиля в целом, соответствие требованиям по выбросам с изменением механической конструкции всего двигателя обойдется производителям как и потребителям, значительно дороже. Одним из таких примеров является внедрение такого мехатронного элемента, как клапан рециркуляции отработавших газов (EGR), который позволяет рециркулировать несгоревшие элементы топливно-воздушной смеси обратно во впускной коллектор двигателя.

Внедрение таких технологий существенно улучшает показатели двигателя, однако, с точки зрения управления (для ЭБУ – электронного блока управления) увеличение количества мехатронных модулей ведет к усложнению процесса манипуляции. Алгоритмы управления и их математические модели как и их калибровка становятся сложнее.

Внедрение таких технологий существенно улучшает показатели двигателя, однако, с точки зрения управления (для ЭБУ – электронного блока управления) увеличение количества мехатронных модулей ведет к усложнению процесса манипуляции. Алгоритмы управления и их математические модели как и их калибровка становятся сложнее.

Двигатель как объект управления. К особенностям двигателя как объекта управления относятся: нелинейность его характеристик, нестационарность (двигатель, в основном, работает в динамических режимах), неопределенность параметров, недоступность прямому измерению ряда величин, запаздывание, обусловленное временем течения газов в коллекторах, инерционность датчиков и исполнительных механизмов и т.д. Иными словами, двигатель является сложной динамической системой с неопределенностями, подверженной различного рода возмущениям, что вызывает необходимость использования методов адаптивного, робастного и обучающегося управления [4].

Одним из первых этапов синтеза системы автоматического управления ДВС, как и любым другим объектом, является построение его математической модели. Учитывая свойства двигателя

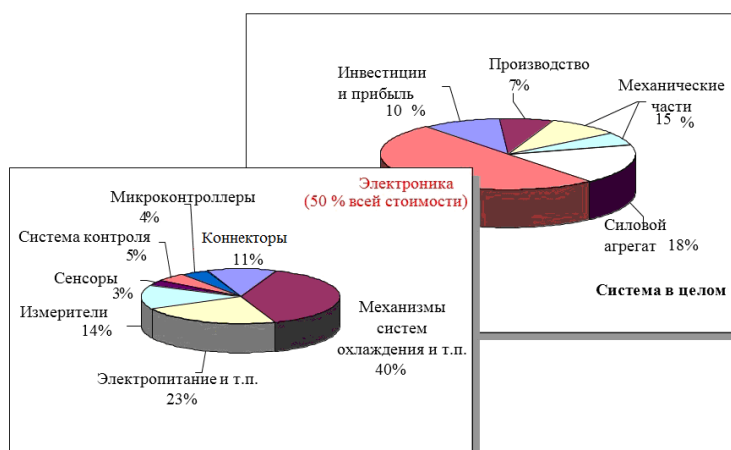


Рис. 3. Разбивка цены на актуаторы автомобиля до интеграции мехатронных систем

как сложной системы, необходимо отметить, что его модель, ориентированная на синтез регуляторов, представляет собой совокупность нелинейных дифференциальных или разностных уравнений. Очевидно при этом, что построение регулятора, который призван обеспечить желаемое поведение системы с высокой точностью, зачастую является трудоемкой процедурой. Для того, чтобы упорядочить и, как следствие, упростить выполнение этой процедуры, необходимо руководствоваться основополагающими принципами синтеза систем управления [5].

Основные свойства автомобильной мехатроники. Рис. 4 по содержанию очень близок к рис. 1, однако, рис. 4 объясняет другое явление – аспекты мехатроники автомобиля.



Рис.4. Аспекты мехатроники: механическая система с интегрированной электроникой во взаимодействии с информацией и физическим воздействием

В отличие от других сред, где элементы мехатроники имеют равносильное значение и вместе образуют общий элемент, основными в автомобильной мехатронике всё же являются механические элементы – актуаторы. В механическую составляющую системы интегрируются остальные элементы. За распознавание изменения/состояния внешних факторов отвечают сенсоры (датчики). За обработку и расшифровку этой информации ответственна система передачи и обработки данных – коммуникационная система. Система управления с учетом полученной информации контролирует работу актуаторов.

В современных системах управления процессами в автомобиле (ЭБУ двигателя, трансмиссии, ESP система, ABS) внедряются новые алгоритмы и технологичные новшества. Одной из таких систем является система управления с наличием «искусственного интеллекта». Такие системы являются некоторым аналогом бортовых самописцев на авиационной технике.

Понятия «self-learning», «smart», «adaptive control» описывают такого рода системы управления, где система может подбирать наиболее рациональные решения по управлению в зависимости от изменений условий эксплуатации агрегата/автомобиля, даже при отсутствии некоторых данных с датчиков.

Пример использования. Увеличение КПД двигателя и модернизация узлов и деталей силовых агрегатов позволяет автопроизводителям уменьшать объемы двигателей, сохраняя их мощность и тягово-скоростные характеристики. Автомобиль BMW модели 320 ранее комплектовался двигателем с объемом 2.0 л, а обновленная модель того же автомобиля комплектуется стандартно новым 1.6-литровым двигателем.

В отечественном автомобилестроении также есть пример с автомобилем Ласетти (ранее с двигателем 1.8 л), обновленный Ласетти имеет двигатель местного производства 1.5 л.

Для внедрения новых актуаторов и сенсоров в автомобилях необходимо решить проблему их интеграции с системами управления и программным обеспечением в электронных блоках. Тем самым возникает научная проблема изменения алгоритмов в электронных блоках с учетом специфики производства и условий эксплуатации транспортного средства. Экологические нормы и требование к составу топливно-воздушной смеси также должны быть учтены при создании алгоритмов управления силовыми агрегатами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мехатроника / Пер с япон. Исии Х., Иноуэ Х., Симояма И. и др. М.: Мир, 1988. – 318 с.
- [2] Schrey U. Software becomes a product. Automotive Electronics, March, 2003; see also: www.autosar.org.
- [3] Schoner H.P., Hille P. Automotive power Electronics – New Challenges for Power Electronics // PESC. Galway, 2000.
- [4] Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления Текст: Учебник / Под ред. Егупова Н.Д. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с.
- [5] Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами Текст / Серия "Анализ и синтез нелинейных систем". Под общ. ред. Леонова Г.А. и Фрадкова А.Л. Спб.: Наука, 2000. – 549 с.

Ж.Ш. Иноятходжаев, Ф.Ш. Умеров. Автомобил саноатидаги мехатрон инновациялар

Ушбу мақолада ҳозирги автомобилларнинг мехатрон тизимлари, уларни автомобилнинг қисмларига ва тизимларига интеграция қилиш ва илгор ривожланиш йўналишлари ифодаланган. Мақолада мехатрон тизимларни автомобилнинг қувват агрегати – двигатели, унинг бошқарув тизими ва бошқарув алгоритмига алоҳида эътибор қаратилган. Бу йўналиш автомобилсозликда ниҳоятда динамик ривожланаётган йўналишлардан биридир.

J.Sh. Inoyatkhodjaev, F. Umerov. Mechatronic innovations in automotive industry

In this paper described mechatronic systems of modern cars, its integration with different car's parts, units and perspective development fields. The major item of article is integration mechatronics with vehicle's powertrain, with its systems and controls algorithms, as with most dynamic developing field in automotive industry.

УДК 532.5:627.8

Х. А. ИСМАГИЛОВ, М.Т. САЙИДОВ

ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА РЕКЕ АМУДАРЬЕ В РАЙОНЕ ТУПРОККАЛИНСКОГО МАССИВА ХОРЕЗМСКОЙ ОБЛАСТИ

Тупроккалинский массив находится на 100 км выше Тюямуянского водохранилища. На этом массиве в пойме реки Амударьи освоено около 5000 га орошаемых земель. После ввода в эксплуатацию Тюямуянского водохранилища под влиянием подпора, создаваемого плотиной в верхнем бьефе, начались заиление и подъем дна русла. Так как Тупроккалинский массив находится в зоне влияния подпора водохранилища, здесь на этом участке произошли такие же процессы и подъем отметки дна [1].

Как показал анализ данных по гидроствору Дарган-Ата, расположенному вблизи от Тупроккалинского массива, со дня ввода в эксплуатацию водохранилища подъем дна в створе составил в 1982 – 1991 гг. 0.1 м, в 1992 – 2008 гг. – 1.0 м и в 2009 – 2013 гг. – 0.1 м. Рост отметки дна наблюдается на трех рассмотренных этапах.

Первый этап охватывает начальные годы ввода в эксплуатацию Тюямуянского водохранилища – 1982 – 1991 гг. За этот период подъем дна составил 0.1 м.

Второй этап с 1992 по 2008 г. характеризуется заилением и подъемом дна еще на 1.0 м. Заиление происходит более интенсивно по сравнению с первым этапом. Это связано с тем, что на первом этапе осаждение наносов, в основном, происходило в озерной части водохранилища и в его русловой части, т.е. в зоне выклинивания подпора почти не наблюдалось осаждения наносов. На втором этапе заиление распространяется и в русловой части и происходит более интенсивный подъем дна по сравнению с первым этапом.

Третий этап охватывает с 2009 по 2012 г. За этот промежуток времени подъем дна составил 0.1 м. На этом этапе наблюдается снижение интенсивности подъема дна русла. Это связано с тем, что заиление распространяется и выше гидроствора Дарган-Ата и к створу поток подходит с мутностью, соответствующей транспортирующей способности потока, и наносы, в основном, проходят в виде транзита. В целом подъем дна русла в створе Дарган-Ата с 1982 по 2012 г. составил 1.2 м и в районе Тупроккалинского массива он равен 3 м.

Подъем дна русла в результате заиления водохранилища отрицательно сказывается на орошаемом массиве Тупроккала, угрожая подъемом уровня воды и затоплением земель.

Для защиты от негативного последствия подъема дна русла Амударьи по специальному проекту в 1998 – 2000 гг. возвели продольные дамбы вдоль реки и поперечные шпоры (рис. 1).

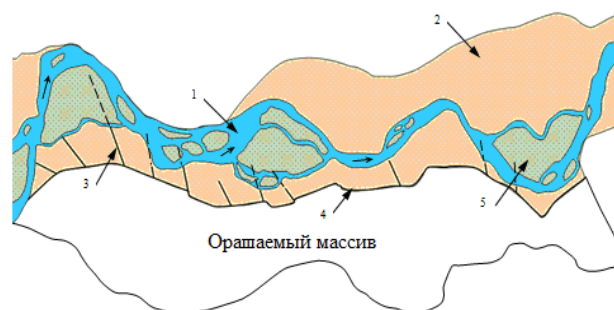


Рис. 1. Космическая съемка русла реки Амударьи на участке Тупроккалинского массива:

1 – постоянное русло; 2 – периодически меняющееся русло; 3 – шпора; 4 – продольная дамба; 5 – остров

Длина продольной дамбы составила 23,4 км, ширина по верху – 20 м, высота дамбы – 4 м, дамба имела двойное заложение откосов. Количество поперечных дамб (шпор) – 11. Их длина приведена в таблице. Оголовки шпоры осуществлены каменной наброской.

Основные размеры шпор

Шпоры №	1	2	3	4	4 ^а	7	8	10	10 ^а	11	12
Длина, м	115	845	890	1215	320	380	600	470	180	1100	170

В результате подъема дна ослабились надежность построенных шпор и потоком были размывы полностью или частично 5 шпор из 12 построенных. В 2010 г. полностью размывалась шпора № 1, в шпоре № 4^а из ее общей длины, составлявшей 320 м, осталось 30 м, в шпоре № 7 из 380 – 50 м, в шпоре 10^а из 180 – 60 м, в шпоре № 11 из 1100 – 140 м.

Особенно интенсивный размыв произошел в зоне действия шпоры № 4^а. В 2007 г. длина шпоры равнялась 170 м. В результате размыва длина сократилась в 2007 г. на 55 м, в 2008 г. – на 40 м и в 2009 г. – на 15 м. В мае 2009 г. длина шпоры составила всего 55 м. Этот участок, в основном, состоял из легкоразмываемого грунта. Кроме шпор, произошли также размывы берегов. Величина размывов берегов составляла на длине свыше 350 м. Ниже шпоры – 450 м, по ширине – 25 – 30 м. В результате происходящего интенсивного размыва до главной продольной дамбы оставалось всего 20 – 25 м. Кроме размыва, происходил подъем уровня воды, который угрожал переливом воды через гребень продольной защитной дамбы.

В мае 2010 г. по реке Амударье прошли паводковые расходы, равные 3800 м³/с. Паводком была разрушена и полностью размывта шпора 4^а. Поток прямо подошел к продольной дамбе и начал размывать. Благодаря принятым мерам на основе разработанных специалистами водного хозяйства и фермерами рекомендаций был приостановлен дальнейший размыв и предотвращена опасность затопления орошаемых культурных земель.

В ходе работы усилена и восстановлена шпора 4^а длиной 50 м. Дополнительно были возведены 3 банкета перед шпорой 4^а и 3 банкета ниже шпоры 4^а (рис. 2).

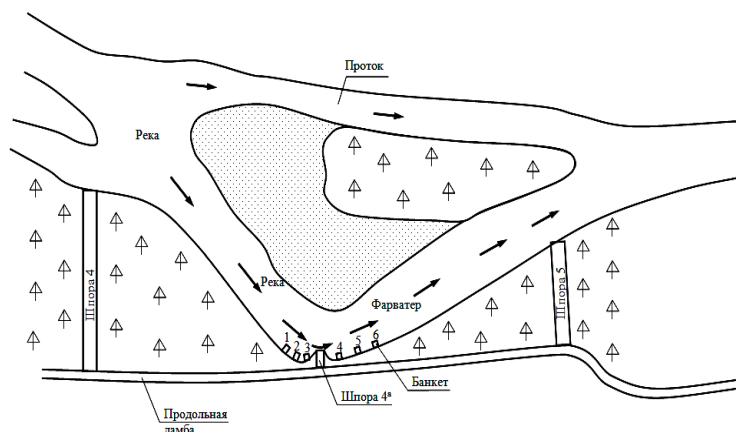


Рис. 2. План-схема реки Амударьи в районе шпоры 4^а Тупроккалинского массива



Рис. 3. Вид шпоры 4^а

В июне 2010 г. снова поток начал размывать участок ниже шпоры 4^а. За полчаса поток размыв участок шириной 35 м, длиной около 100 м в сторону продольной дамбы, и до дамбы осталось всего 5 м. В этот же день была объявлена чрезвычайная ситуация: привлечены 53 автосамосвала, 4 экскаватора, 2 бульдозера и 30 прицепных тракторов, ежедневно доставляющих 700 м³ камней, более 300 м³ земли. Эти работы продолжались в течение 5 дней, в результате чего были приостановлены размывы. Для усиления проведенных мероприятий доставлено до мест работы дополнительно камней в объеме: для шпоры № 4^а – 1000 м³, для банкета № 1 – 7 по 500 м³ каждому: всего 4000 м³.

19 июля 2012 г. по Амударье прошли паводковые расходы, равные 3700 и 4250 м³/с. Резко происходил подъем уровня с 20 июля и начался спад уровня воды. Уровень воды составлял на 0,10 – 0,15 м ниже отметок гребня дамбы. Возникла угроза перелива воды и затопления орошаемой

земли. В срочном порядке начали привозить грунты, и была наращена отметка гребня дамбы на опасных участках. Таким образом, была предотвращена опасность перелива воды через продольную дамбу. В дальнейшем опасные участки, где происходили размывы берегов, усилили каменной отсыпкой. Эта работа продолжалась до августа.

Впоследствии было ускорено завершение строительства шпоры 4^а, на участке дейгиша дополнительно построены 2 шпоры и 2 банкета, для закрепления опасного участка берега доставлены камни в объеме 2200 м³, грунт в объеме 9000 м³. Кроме того, были ускорены завершение первой очереди реконструкции продольной дамбы и проектные проработки по реконструкции второй очереди дамбы. На участке, где русло реки прямо приближено к продольной дамбе, предусмотрено строительство дамбы второго ряда.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Исмагилов Х. А. Селевые потоки, русловые процессы, противоселевые и противопаводковые мероприятия в Средней Азии. Ташкент, 2006. – 261с.

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем
при Ташкентском институте ирригации и мелиорации

Дата поступления
02.02.2014

Х.А. Исмагилов, М.Т. Сайидов. Хоразм вилояти Тупроққа ҳудудларида Амударёдаги ҳимоя тадбирлари

Мақолада Амударёнинг Тупроққа ҳудудларидаги бажарилган ҳимоя тадбирлари келтирилади. Тупроққа ҳудудининг космик съёмкалари, шпораларнинг тасвири олинган ва уларнинг ҳолати баҳоланган. Даргон-ота гидропостида ўзан туби отеткасининг йиллар давомидаги ўзгариши ўрганилган. Шпоралардаги қилинган ишлар ҳажми кузатишган вазиятлар ва уларнинг вақтлари келтирилган.

H.A. Ismagilov, M.T. Sayidov. Protective measures on river Amudarya near the tuprokkalinsky massif of the Khorezm area

On article it is provided carries out protective action on the Amudarya rivers Tuprokkalinskya's sites of the massif, Carries out spfce shootings and an assessment Tuprokkalinskya's condition of the massif, to receve natural a spure picture. Changes on the executed work volume on spurs, observant states and its dates.

УДК 677.21.021.152.8

Н.З. КАМАЛОВ, Ш.З. КАМАЛОВ, Д.Р. КАРИМОВ

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИНТЕРОВАНИЯ ХЛОПКОВЫХ СЕМЯН

Выбранный критерий оптимальности технологического процесса линтерования хлопковых семян при соблюдении позиционных ограничений, накладываемых на входные параметры процесса, а также полученная математическая модель процесса позволили решить задачу оптимизации данного технологического процесса [1, 2].

Рассматриваемая компромиссная задача не может быть решена полностью обычной стабилизацией важнейших параметров исследуемого процесса, так как в реальных производственных условиях первичной переработки хлопка обычно не удается избежать влияния ряда неконтролируемых возмущающих воздействий. Поставленную задачу можно решить с применением системы автоматической оптимизации, предусматривающей корректировку коэффициентов математической модели процесса через определенные промежутки времени и решение задачи оптимального управления процессом линтерования хлопковых семян.

Периодическая корректировка математической модели процесса предполагает необходимость использования достоверной информации о состоянии объекта управления. Отсутствие непрерывной информации входящих в математическую модель таких параметров, как производительность по линту, поврежденность хлопковых семян, засоренность линта и конечная опущенность хлопковых семян, вынуждает производить корректировку модели через определенный интервал времени (после получения результатов лабораторных анализов).

В основе построения системы автоматического управления процессом линтерования хлопковых семян лежит выбор таких структурных взаимосвязей отдельных звеньев, которые обеспечат

комплексность переработки первичных сведений и выдачу результативной информации органами управления на всех ступенях контролируемого объекта. Эксплуатация системы управления связана с реализацией методов оптимизации управляемых процессов. Структура системы управления должна строиться на принципах минимизации числа ступеней и с учетом наиболее простых связей между подсистемами и элементами общей схемы.

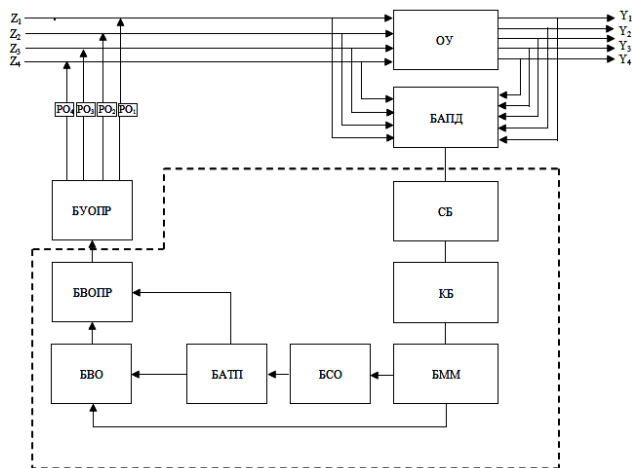


Рис. 1. Функционально-структурная схема системы автоматической оптимизации процесса линтерования хлопковых семян

линту, поврежденность хлопковых семян, засоренность линта и опущенность хлопковых семян, производится через определенное время.

Во время переработки полученной информации производится усреднение значений указанных координат за промежуток времени между двумя циклами опроса по рекуррентному выражению

$$\bar{V}^n = \bar{V}^{n-1} + \frac{1}{n} (V^n - \bar{V}^{n-1}),$$

где $\bar{V}^n, \bar{V}^{n-1}$ – значения измеряемых координат, усредненные, соответственно по "n" и "n-1" опросам; V^n – мгновенное значение координат в n-ом опросе.

Далее усредненная информация из блока анализа и преобразования данных (БАПД) поступает в блоки сравнения (СБ) и корректировки (КБ), где уточняются коэффициенты модели. В блоке математической модели (БММ) вычисляется математическая модель процесса. Полученные результаты сравниваются по соответствующим выходным величинам объекта, хранящимся в памяти машин. В соответствии с заданными критериями оптимизации в блоке скалярной оптимизации (БСО) производится поиск совокупности оптимальных значений входных параметров процесса. Найденные оптимальные значения параметров процесса поступают в блок анализа технологического процесса (БАТП), где проверяются на достоверность. При числе критериев больше одного БАТП посылает информацию в блок векторной оптимизации (БВО). Если число критериев составляет единицу, то в этом случае БАТП передает информацию в блок вычисления оптимальных параметров регулятора (БВОПР). Результаты вычислений передаются в блок установки оптимальных параметров (БУОПР), который устанавливает оптимальные параметры регулятора и поддерживает эти значения до поступления следующей информации. Регулирующие органы (РО₁, РО₂, РО₃, РО₄) воздействуют на входные параметры объекта согласно сигналам, поступающим из БУОПР.

Таким образом, контроль и управление стабилизируют параметры процесса, позволяют точно и быстро корректировать технологические режимы работы агрегата при изменении условий, а также получать необходимую технико-экономическую информацию для полного и своевременного анализа процесса и принятия соответствующих решений.

Из анализа агрегатных средств, а также из опыта эксплуатации системы установлено, что наиболее приемлемым в системе автоматического управления технологическим процессом линтерования хлопковых семян является использование микропроцессорного устройства. В качестве микропроцессорного устройства предполагается использование промышленного контроллера.

Микропроцессорная система состоит из регулируемого электропривода питающих валиков, выполненного на базе асинхронного электродвигателя переменного тока с короткозамкнутым ротором общепромышленного исполнения и устройства преобразования частоты; устройства измерения потребляемой мощности (расхода электроэнергии) двигателем пильного цилиндра линтера; блока микропроцессорной обработки информации и выработки сигналов управления; исполнительного механизма.

В основу работы микропроцессорной системы положен тот факт, что к количеству хлопковых семян, подаваемого в линтер при оптимальной работе, соответствует определенная потребляемая мощность (расход электроэнергии) двигателем пильного цилиндра линтера. При превышении этого значения (при перерасходе электроэнергии) необходимо уменьшать подачу семян в линтер через блок регулирования и наоборот. Информация о состоянии нагрузки двигателя (расход электроэнергии) пильного цилиндра линтера получается из датчика мощности.

На основе вышеприведенных рассуждений выбраны основные комплектующие части и механизмы системы автоматического управления.

Разработанная и изготовленная система автоматического управления технологическим процессом линтерования хлопковых семян внедрена на Чиназском опытно-экспериментальном хлопкозаводе и получены положительные результаты (рис. 2).



Рис. 2. Вид электронного блока и исполнительного механизма

Внедрение системы автоматического управления технологическим процессом линтерования хлопковых семян приводит к: увеличению производительности линтерного агрегата по съему линта за счет равномерной подачи хлопковых семян; исключению образования забоев; снижению простоев; экономии энергоресурсов; обеспечению условий техники безопасности и охраны труда. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения составляет 20.5 млн. сум на одну систему.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Камалов Н.З., Камалов Ш.З., Каримов Д.Р. Microprocessor system of automatic control of technological process linting of cotton seeds // Материалы Седьмой всемирной конференции WSCIS-2012 «Интеллектуальные системы для индустриальной автоматизации». Ташкент: ТГТУ, 2012. 25 – 27 ноября. С. 331 – 334.
- [2] Камалов Н.З., Камалов Ш.З., Каримов Д.Р. Оптимизация параметров технологического процесса линтерования хлопковых семян // Материалы Республиканской НПК «Научно-методические и практические аспекты формирования “Кластеры текстиль Намангана”». Наманган: НамИТИ, 2013. 21 – 22 ноября. С. 64 – 67.

Акционерное общество “Paxtasanoat ilmiy markazi”

Дата поступления
06.10.2014

Н.З. Камалов, Ш.З. Камалов, Д.Р. Каримов. Пахта чигитини линтерлаш технологик жараёнини автоматик оптималлаштириш тизими синтези

Ишда пахта чигитини линтерлаш технологик жараёнини автоматик оптималлаштириш тизимини синтези кўрилган ва жараёнини автоматик бошқариш тизимининг таркиби келтирилган.

N.Z. Kamalov, Sh.Z. Kamalov, D.R. Karimov. Synthesis of system of automatic optimization of technological process linting cotton seeds

In work the question of synthesis of system of automatic optimization of technological process of a linting of cotton seeds is considered and the structure of system of automatic control is given by process.

А. КАРИМЖАНОВ, М.А. КАДЫРОВА, Ж.В. МУЛЛАЖОНОВА, О.Х. АТАБАЕВ,
Ю.А. МАМАТОХУНОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА, ПОСТРОЕННОЙ ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В настоящей работе получены достаточные условия равномерной асимптотической устойчивости невозмущенного движения $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ существенно нелинейной системы

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{X}(t, \mathbf{x}) + \mathbf{R}(t, \mathbf{x}) \quad (1)$$

с использованием функции Ляпунова, построенной для предельной системы [1, 2]

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{X}^0(t, \mathbf{x}), \quad (2)$$

соответствующей укороченной системе

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{X}(t, \mathbf{x}). \quad (3)$$

Здесь $\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{X}(t, \mathbf{x}) - \mathbf{X}^0(t, \mathbf{x})\| = 0$. Предельная система может оказаться более простой по сравнению с системой (3) в плане интегрирования.

Для системы (2) предположим следующее: Невозмущенное движение $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ равномерно по t_0 устойчиво неасимптотически, т.е. для нее существует функция Ляпунова $V(t, \mathbf{x})$ с соответствующими свойствами. Известно общее решение $\mathbf{x}^0(t) = \mathbf{x}^0(t, t_0, \mathbf{x}_0)$ при $\mathbf{x}^0(t, t_0, \mathbf{x}_0) \in \text{int } D$, $t \geq t_0$. Вектор функция $\mathbf{X}^0(t, \mathbf{x})$ удовлетворяет условию Липшица по $\mathbf{X}$ с постоянной L .

Теорема. Пусть

1⁰. В области D существуют функция $V(t, \mathbf{x}) \in C^{(1,1)}(D)$ и функции $a, b \in K$ - классу, для которых выполняются условия: $a(\|\mathbf{x}\|) \leq V(t, \mathbf{x}) \leq b(\|\mathbf{x}\|)$ и $\dot{V}^0(t, \mathbf{x}) \leq 0$, $\|\nabla V\| < \omega_0$, где $\omega_0 = \text{const} > 0$;

2⁰. $\varphi = ((\nabla V)^T, \mathbf{R}(t, \mathbf{x})) \in C^1(\Omega)$ и имеют место неравенства $\|\mathbf{R}(t, \mathbf{x})\| \leq M\|\mathbf{x}\|^r$; $\|\nabla \varphi\| \leq N\|\mathbf{x}\|^{d-1}$; $\nabla = \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}}$, где $r > 1$, $d \geq r$, M и N положительные постоянные;

3⁰. Для любой пары $(t, \mathbf{x}) \in D$ выполняется одно из условий:

а) Существует функция $c \in K$ - классу, такая, при которой

$$\dot{V}^0(t, \mathbf{x}) + \varphi(t, \mathbf{x}) \leq -c(\|\mathbf{x}\|);$$

б) $\varphi^0(T_1, t, \mathbf{x}) \leq -\delta T_1 \|\mathbf{x}\|^d$ при $T_1 > l$.

Тогда невозмущенное движение $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ системы (1) равномерно асимптотически устойчиво.

Доказательство. Пусть заданы числа $E \in]0, H[$, $t_0 \in J$ и $\alpha \in]0, E[$. Используя условие 2⁰ и известную Лемму [3], получим

$$|\varphi(t, \mathbf{x}) - \varphi(t, \bar{\mathbf{x}})| < \|\mathbf{x}(\tau)\|^{d+r-1} \Phi(t - \tau),$$

при $t \in [i - \tau + a]$, где $a \in \mathbf{R}_+$, $\Phi(i - \tau) = M \left[(F(t - \tau))^{d-1} + (F(t - \tau))^{d-1} \right] E(t - \tau)$.

Определим число $\alpha_0 > 0$ из условий: $a_0^r E(2l) \leq \alpha - a_0$; $a_0^{r-1} \Phi(2l) < \delta / 4$.

По Лемме [1] для любого числа $\lambda > 0$ существует такой момент времени τ_0 , что при $\tau > \tau_0$ и $t > \tau$ для решений $\bar{\mathbf{x}}(t) = \bar{\mathbf{x}}(t; \tau, \mathbf{x}(\tau))$ и систем (1) и (2) имеет место неравенство $\|\mathbf{x}(t) - \mathbf{x}^0(t)\| \leq \lambda(t - \tau) \exp[L(t - \tau)]$. Число λ определяем так:

$$\lambda = \min \left\{ \frac{\delta b^{-1}(a(\alpha_0))}{4M(2l + l') \exp[(2l + l')L] (\bar{F}(2l + l'))^{d-1}}; \frac{\delta (b^{-1}(a(\alpha_0)))^d}{2\omega_0}; \frac{c(b^{-1}(a(\alpha_0)))}{\omega_0}; \frac{\alpha_0}{2(2l + l') \exp[(2l + l')L]} \right\},$$

где $l' = a(\alpha_0) / [c(b^{-1}(a(\alpha_0))) - \omega_0 \lambda]$.

Число $\varepsilon_0 > 0$ определим из условия совместимости неравенств

$$\varepsilon_0^r E(2l + l') \leq \varepsilon - \varepsilon \quad \text{и} \quad \varepsilon_0^{r-1} \Phi(2l + l') \leq \delta / 4.$$

Пусть $\alpha_0 < \varepsilon_0$. Рассмотрим возмущенное движение $\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(t; t_0, \mathbf{x}_0)$ системы (1). По Лемме [1] для любых $t_0 \in [0, \tau_1]$ и $t \in [t_0, t_0 + \tau_1]$, где $\tau_1 \geq \tau_0$, имеет место оценка $\|\mathbf{x}(t; t_0, \mathbf{x}_0)\| \leq \|\mathbf{x}_0\| \exp(2L\tau_1)$. Выбрав $\eta = b^{-1}(a(\alpha_0)) / \exp(2L\tau_1)$ при $\|\mathbf{x}_0\| < \eta$, получим оценку $\|\mathbf{x}(t; t_0, \mathbf{x}_0)\| < b^{-1}(a(\alpha_0))$. Поэтому для доказательства устойчивости невозмущенного движения $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ системы (1) достаточно показать, что $\|\mathbf{x}(t; t_0^l, \mathbf{x}_0^l)\| < \varepsilon$ при $t_0^l \geq t_0 + \tau_1$ и $\|\mathbf{x}_0^l\| < b^{-1}(a(\alpha_0))$, $\forall t \geq t_0^l$.

Пусть решение $\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(t, t_0^l, \mathbf{x}_0^l)$ покинуло область $\|\mathbf{x}\| < b^{-1}(a(\alpha_0))$ и в некоторый момент $t = \tau$ выполняется условие $V(\tau, \mathbf{x}(\tau)) = a(\alpha_0)$ и одно из условий 3^0 . Рассмотрим два возможных случая:

1. Пусть в момент τ выполняется условие 3^0 а), т.е. в области D

$$\dot{V}^0(\tau, \mathbf{x}(\tau)) + \varphi(\tau, \mathbf{x}(\tau)) \leq -c(\|\mathbf{x}(\tau)\|).$$

В силу условий 1^0 и 2^0 при $t \geq \tau$ имеем $\left| \left((\nabla V)^T, (\mathbf{X} - \mathbf{X}^0) \right) \right| < \omega_0 \lambda$.

Из выражения полной производной функции $V(t, \mathbf{x})$ в силу системы (1)

$$\frac{dV}{dt} = \dot{V}(t, \mathbf{x}) + \varphi(t, \mathbf{x}) = \left((\nabla V)^T, \mathbf{X} - \mathbf{X}^0 \right) + \dot{V}^0(t, \mathbf{x}) + \varphi(t, \mathbf{x})$$

получим

$$\frac{dV}{dt} < \dot{V}^0(t, \mathbf{x}) + \varphi(t, \mathbf{x}) + \omega_0 \lambda. \quad (4)$$

Поскольку $\|\mathbf{x}(\tau)\| \geq b^{-1}(a(\alpha_0))$ при $t = \tau$, имеем $\frac{dV}{dt} \Big|_{t=\tau} < -c(b^{-1}(a(\alpha_0))) \omega_0 \lambda$

и отсюда, согласно выбору величины λ , получим $\frac{dV}{dt} \Big|_{t=\tau} < 0$. Значит, решение $\mathbf{x}(t)$ в момент $t = \tau$ не может пересечь поверхность $V(t, \mathbf{x}) = a(\alpha_0)$, т.е. оно не выходит из области $\|\mathbf{x}\| \leq \alpha_0$.

Для возмущенного движения $\mathbf{x}(t)$ не могут выполняться одновременно неравенства

$$\|\mathbf{x}(t)\| \geq b^{-1}(a(\alpha_0)), \quad \dot{V}^0(t, \mathbf{x}) + \varphi(t, \mathbf{x}) \leq -c(\|\mathbf{x}\|) \quad (5)$$

на отрезке длиной l' . Действительно, предположив противное, интегрируя неравенство (4) с учетом (5), получим для $t \geq \tau$

$$V(t, \mathbf{x}(t)) < V(\tau, \mathbf{x}(\tau)) + \omega_0 \lambda (t - \tau) - \int_{\tau}^t c(\|\mathbf{x}(s)\|) ds.$$

При $t = \tau + l'$ имеем $V(\tau + l', \mathbf{x}(\tau + l')) < V(\tau, \mathbf{x}(\tau)) + [\omega_0 \lambda - c(b^{-1}(a(\alpha_0)))]l'$. Отсюда, в силу выбора чисел λ и l' находим $V(\tau + l', \mathbf{x}(\tau + l')) < 0$. Это противоречит определенной положительности функции $V(t, \mathbf{x})$. Следовательно, существует момент времени $t^* \in [\tau, \tau + l']$, в который нарушится одно из неравенств (5). Из нарушения первого неравенства следует, что $\|\mathbf{x}(t)\| < b^{-1}(a(\alpha_0))$. Пусть нарушится второе неравенство, тогда имеет место условие 3⁰ б).

2. Предположим, что в некоторый момент $t = \tau'$ имеет место неравенство

$$V(\tau', \mathbf{x}(\tau')) = a(\alpha_0) \text{ и } \varphi^0(T_1, \tau', \mathbf{x}(\tau')) \leq -\delta T_1 \|\mathbf{x}(\tau')\|^d \text{ при } T > l.$$

Интегрируя неравенство (4) при $t \geq \tau'$ в силу условия 2⁰, получим

$$V(t, \mathbf{x}(t, \tau', \mathbf{x}(\tau'))) \leq V(\tau', \mathbf{x}(\tau')) + \omega_0 \lambda (t - \tau') + \int_{\tau'}^t \varphi(s, \mathbf{x}(s, \tau', \mathbf{x}(\tau'))) ds. \quad (6)$$

Интеграл в этом неравенстве представим так:

$$\int_{\tau'}^t \varphi(s, \mathbf{x}(s, \tau', \mathbf{x}(\tau'))) ds = B_1 + B_2 + B_3,$$

где $B_1 = \int_{\tau'}^t [\varphi(s, \mathbf{x}(\tau', \mathbf{x}(\tau')))] - \varphi(s, \bar{\mathbf{x}}(s, \tau', \mathbf{x}(\tau')))] ds$; $B_2 = \int_{\tau'}^t [\varphi(s, \bar{\mathbf{x}}(\tau', \mathbf{x}(\tau')))] - \varphi(s, \mathbf{x}^0(s, \tau', \mathbf{x}(\tau')))] ds$;

$B_3 = \int_{\tau'}^t \varphi(s, \mathbf{x}^0(s, \tau', \mathbf{x}(\tau'))) ds$; $\bar{\mathbf{x}}(s, \tau', \mathbf{x}(\tau'))$, $\mathbf{x}^0(s, \tau', \mathbf{x}(\tau'))$ – соответственно решения систем (3) и (2).

Для решений $\mathbf{x}(t)$ и $\bar{\mathbf{x}}(t)$ при $t \in [\tau', \tau' + 2l + l']$ имеет место неравенство $\|\mathbf{x}(t) - \bar{\mathbf{x}}(t)\| \leq \|\mathbf{x}(\tau')\|^2 E(2l + l')$. Так как $\|\mathbf{x}(\tau')\| \leq \alpha_0 \leq \varepsilon_0$ в силу выбора числа ε_0 , то $\|\mathbf{x}(t) - \bar{\mathbf{x}}(t)\| \leq \varepsilon - \varepsilon_0$. Для решений $\bar{\mathbf{x}}(t)$ и $\mathbf{x}^0(t)$ при $t \in [\tau', \tau' + 2l + l']$ из (5) в силу выбора λ находим $\|\bar{\mathbf{x}}(t) - \mathbf{x}^0(t)\| \leq \frac{\alpha_0}{2}$. Далее, учитывая факт устойчивости состояния $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ системы (3) (т.е.

$\|\mathbf{x}^0(t)\| < \alpha_0 / 2, \forall t \in [\tau', \tau' + 2l + l']$), получим $\|\mathbf{x}(t)\| \leq \|\mathbf{x}(t) - \bar{\mathbf{x}}(t)\| + \|\bar{\mathbf{x}}(t) - \mathbf{x}^0(t)\| + \|\mathbf{x}^0(t)\| < \varepsilon$, при $t \in [\tau', \tau' + 2l + l']$. Оценим интегралы B_1 , B_2 и B_3 на интервале $[\tau', \tau' + 2l + l']$:

$$\begin{aligned} B_1 &\leq \int_{\tau'}^t |\varphi(s, \mathbf{x}(s)) - \varphi(s, \bar{\mathbf{x}}(s))| ds \leq \|\mathbf{x}(\tau')\|^{d+r-1} \int_{\tau'}^t \Phi(s - \tau') ds \leq \\ &\leq \|\mathbf{x}(\tau')\|^d \Phi(2l + l') \varepsilon_0^{r-1} (t - \tau') \leq \frac{\delta \|\mathbf{x}(\tau')\|^d}{4} (t - \tau'). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_2 &\leq \int_{\tau'}^t |\varphi(s, \bar{\mathbf{x}}(s)) - \varphi(s, \mathbf{x}^0(s))| ds \leq \lambda M \|\mathbf{x}(\tau')\|^{d-1} \int_{\tau'}^t (F(s - \tau'))^{d-1} (s - \tau') \exp[L(s, \tau')] ds \leq \\ &\leq \lambda M \|\mathbf{x}(\tau')\|^{d-1} (2l + l') \exp(L(2l + l')) (t - \tau') \leq \frac{\delta \|\mathbf{x}(\tau')\|^d}{4} (t - \tau'), \end{aligned}$$

Поскольку $B_3 = \varphi^0(t - \tau', \tau', \mathbf{x}(\tau'))$ в силу условия 3⁰ б) при $t > \tau' + l$ имеем

$$B_3 \leq -\delta \|\mathbf{x}(\tau')\|^d (t - \tau').$$

Учитывая оценки для B_1, B_2, B_3 , из (6) для $t \in [\tau' + l, \tau' + 2l + l']$ получим

$$V(t, \mathbf{x}(t)) \leq V(\tau', \mathbf{x}(\tau')) - \left(\frac{\delta \|\mathbf{x}(\tau')\|^d}{2} - \omega_0 l \right) (t - \tau'). \quad (7)$$

В силу выбора λ и того, что $\|\mathbf{x}(\tau')\| \geq b^{-1}(a(\alpha_0))$, число $(\delta \|\mathbf{x}(\tau')\|^d / 2 - \omega_0 \lambda)$ – неотрицательное. Это значит, что возмущенное движение $\mathbf{x}(t)$ системы (1) может покинуть область, ограниченную поверхностью $V(t, \mathbf{x}) = a(\alpha_0)$, но в силу выбора числа λ_0 оно останется в $\mathcal{E}$ окрестности нуля в течение отрезка времени длиной $2l + l'$ и, как видно из неравенства (7), в некоторый момент времени из интервала $[\tau', \tau' + l]$ оно вернется в область, ограниченную поверхностью $V(t, \mathbf{x}) = a(\alpha_0)$. Из рассмотрения случаев 1 и 2 следует, что возмущенное движение $\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(t, t_0, \mathbf{x}_0)$ при $t_0 \in J$, $\|\mathbf{x}_0\| < \eta$ не покинет область B_ε при всех $t \geq t_0$.

Докажем теперь, что существует такой момент времени t' , что для возмущенного движения $\mathbf{x}(t)$ будет выполняться условие $\|\mathbf{x}(t)\| < b^{-1}(a(\alpha_0))$ при всех $t \geq t'$. Рассмотрим последовательность моментов времени $t_i = t_0 + 2il$, $i = 1, 2, \dots$. Предположим, что для $\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(t; t_0, \mathbf{x}_0)$ на интервале $[t_0, t_m]$, где m – наименьшее целое число, удовлетворяющее условию $m > a(\alpha_0) / (2l(\delta(b^{-1}(a(\alpha_0)))^d / 2 - \omega_0 \lambda))$, выполняется неравенство $\|\mathbf{x}(t)\| \geq b^{-1}(a(\alpha_0))$.

Аналогично тому, как выполнено ранее, можно показать, что функция $V(t, \mathbf{x})$ на каждом интервале $[t_i, t_{i+1}]$ убывает по крайней мере на величину $(2l(\delta \|\mathbf{x}(t_i)\|^d / 2 - \omega_0 \lambda))$. При $t = t_m$

$$V(t_m, \mathbf{x}(t_m)) < V(t_0, \mathbf{x}_0) - 2l \left(\sum_{i=0}^{m-1} \frac{\delta \|\mathbf{x}(t_i)\|^d}{2} - m \lambda \omega_0 \right).$$

Учитывая, что $\|\mathbf{x}(t_i)\| \geq b^{-1}(a(\alpha_0))$, находим

$$V(t_m, \mathbf{x}(t_m)) < V(t_0, \mathbf{x}_0) - 2ml \left(\delta (b^{-1}(a(\alpha_0)))^d / 2 - \omega_0 \lambda \right).$$

Из условий, налагаемых на числа m и λ , следует $V(t_m, \mathbf{x}(t_m)) < 0$. Полученное неравенство противоречит определенной положительности функции $V(t, \mathbf{x})$. Следовательно, существует момент времени $t' \in [t_0, t_0 + 2ml]$ такой, что выполняется неравенство $\|\mathbf{x}(t') < b^{-1}(a(\alpha_0))\|$.

Аналогично тому, как показано, что возмущенное движение $\mathbf{x}(t, t_0, \mathbf{x}_0)$ при условии $\Phi \|\mathbf{x}_0\| < \eta$ остается в области B_ε при всех $t \geq t_0$, можно показать, что возмущенное движение $\mathbf{x}(t, t', \mathbf{x}(t'))$, в силу выбора α_0 , не покинет области B_α , $\alpha < \varepsilon$ при всех $t \geq t'$. Этим доказано существование числа $T = 2ml$, т.е., невозмущенное движение $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ системы (1) равномерно асимптотически устойчиво.

Замечание. В рассмотренном случае производная функции Ляпунова в силу системы (1) может быть знакопеременной в отличие от теоремы И. Г. Малкина [4]. В отличие от результатов из статей О.В. Анашкина и В.И. Косолапова [3, 5], в доказанной теореме не требуется устойчивость системы (3).

Иллюстративный пример: пусть дифференциальные уравнения возмущенного движения имеют вид

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = c(t)(-x_1 + x_2) + x_1^3 - ax_2^3 \\ \frac{dx_2}{dt} = (1 - c(t))(x_1 - x_2) + x_1^3 - ax_2^3 + x_1^5 - ax_2^5 \end{cases} \quad (8)$$

где $a = \text{const}$, $\lim_{t \rightarrow \infty} c(t) = 1$

Укороченная система, соответствующая системе (8),

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = c(t)(-x_1 + x_2) \\ \frac{dx_2}{dt} = (1 - c(t))(x_1 - x_2) \end{cases}, \quad (9)$$

предельная система:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -x_1 + x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = 0 \end{cases}. \quad (10)$$

Для системы (10) выберем функцию Ляпунова в виде $V = x_2^2 + (x_1 - x_2)^2$. Её производная в силу системы (10) $\frac{dV}{dt} = -2(x_1 - x_2)^2 = V^*(x) \leq 0$. $\varphi_0(\mathbf{x}_0) = 2x_{20}^4(1 - a)$, при $a > 1$ в области $E(V^* = 0) = \{\mathbf{x} : x_1 = x_2\}$ определено отрицательно. Проверка выполнения остальных условий теоремы не представляет большого труда. Следовательно, невозмущенное движение $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ системы (8) равномерно асимптотически устойчиво.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Каримжанов А. Предельные системы в задаче об устойчивости неавтономных систем // Прикладная механика. 1985. № 5. С. 110 – 117.
- [2] Мартынюк А. А., Каримжанов А. Предельные уравнения и устойчивость нестационарных движений // Прикладная механика. 1987. № 10. С. 67 – 73.
- [3] Анашкин О. В. Об асимптотической устойчивости в нелинейных системах // Дифференциальные уравнения. 1978, № 8. С. 1490 – 1493.
- [4] Малкин И. Г. Об устойчивости при постоянно действующих возмущениях // Прикладная математика и механика. 1944. № 3. С. 241 – 245.
- [5] Косолапов В. И. К устойчивости движения в нейтральном случае // Доклады АН УССР. Серия А. 1979. № 1. С. 27 – 31.

Андижанский государственный университет
им. Бабура

Дата поступления
22.10.2014

А. Каримжанов, М.А. Кадырова, Ж.В. Муллажонов, О.Х. Атабаев, Ю.А. Маматохунова. Характер турбулентности лимит системы учун тузилган Ляпунов функцияси ёрдамида тадқиқ қилиш

Мазкур лимит система учун тузилган $V(t, \mathbf{x})$ Ляпунов функцияси ва лимит системанинг баъзи бир хоссалари асосида шунда $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ қўзғатилмаган ҳаракат текис асимптотик турбулент шартлари ҳосил қилинган. Бунда И.Г.Малкиннинг маълум теоремасидан фарқи ўлароқ, Ляпунов функциясининг берилган система асосидаги ҳосиласи шунора алмашинувчи ҳам бўлиши мумкин.

A. Karimjanov, M.A. Kadirova, Zh.V. Mullajonova, O.H. Atabayev, Yu.A. Mamatohunova. A study of the stability of motion using a Lyapunov function constructed for limiting system

We obtain sufficient conditions for the uniform asymptotic stability of the unperturbed motion $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ of essentially nonlinear system using Lyapunov function $V(t, \mathbf{x})$, constructed for the limiting system. In this case, the derivative of the Lyapunov function by virtue of the original system can be alternating in contrast to theorem of I.G. Malkin. In addition, the theorem is not required stability shortened system.

Р.Д. МАТЧАНОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

На территории бассейна Аральского моря расположены площади под сельскохозяйственные культуры Узбекистана. Имеющиеся здесь равнины и предгорья в значительной мере пригодны для сельскохозяйственного производства. Обеспеченность теплом, необходимым для произрастания большого ассортимента ценнейших сельскохозяйственных культур, обуславливает получение высоких, качественных урожаев. Для этой зоны характерны исключительно малые годовые нормы осадков и почти полное их отсутствие в наиболее жаркий летний период. Поэтому земледелие здесь, в основном, орошаемое.

Средняя Азия и в частности Узбекистан и юг Казахстана характеризуются самой большой в СНГ величиной солнечного сияния, составляющей за год 2500 – 3000 ч [1]. Вследствие этого указанная территория получает весьма значительное количество солнечной энергии, что создает благоприятные условия для возделывания теплолюбивых растений, в том числе хлопчатника, овощебахчевых, зерновых, кормовых и других культур, садов и виноградников.

Для возделывания основных сельхозкультур разработаны типовые механизированные технологии и исходные требования к технике. Под практическую реализацию механизированных технологий разработана Система машин [2].

Мировой опыт ведения сельского хозяйства, открытие границ, широкое апробирование в Узбекистане прогрессивной импортной техники диктуют необходимость существенного изменения технологических карт и Системы машин.

Условия ведения сельского хозяйства, технические и технологические возможности республики, ряд других объективных и субъективных факторов обусловили создание и развитие специальных технологий и технических средств для возделывания сельхозкультур и, прежде всего, хлопчатника. Таким образом, Система машин отражала уровень развития технологии и необходимой для ее осуществления техники на конкретный отрезок времени.

Специфичность наших технологий и технических средств определялась тем, что по климатическим условиям Среднеазиатский регион относится к аридной (засушливой) зоне [3] с жарким резко континентальным климатом, характеризующимся почти полным отсутствием естественных осадков в летний период.

В рыночных условиях основными факторами эффективного хозяйствования становятся экономическая целесообразность и конкурентность производимой продукции.

Сегодня уже очевидно, что традиционные методы производства сельскохозяйственной продукции с использованием высокзатратных энергоемких технологий и устаревших моделей машин не могут обеспечить получение высоких качественных урожаев. Только инновационная стратегия сельского хозяйства и сельскохозяйственного машиностроения являются определяющим фактором выживания.

Основой сельскохозяйственного производства должны стать ресурс-, энерго-, водосберегающие технологии, представляющие собой совокупность физических, механических и химических воздействий на растения, почву и окружающую среду, с целью получения максимальных урожаев с наименьшими затратами труда и средств.

В настоящее время в Узбекистане имеются высокоурожайные сорта хлопчатника, зерновых и других культур. Задачей ученых и конструкторов является обеспечение земледельцев такими технологиями и машинами, которые позволят получать от растений максимально возможный урожай.

Например, ученый из России В.М.Ступин [4] разделил возможные технологии в зерноводстве на три вида:

– Нормальные технологии – система получения зерна с максимальным использованием плодородия почвы и ресурсов агроландшафта, биологического потенциала сорта с его реализацией более 50% и затратами труда 6.5 чел. ч/т, гарантирующая урожайность зерна – 25 – 30 ц/га.

– Интенсивные технологии – система получения качественной продукции с компенсацией выноса питательных веществ урожаем, с мерами по защите растений от наиболее опасных болезней, вредителей и сорняков, обеспечивающая реализацию потенциала сорта более 65 % и затраты труда менее 4.5 чел. ч/т, гарантирующая урожайность 40 – 50 ц/га.

– Высокие технологии – система получения наивысшей урожайности с компенсацией выноса питательных веществ урожаем, окупающим финансовые, энергетические и трудовые затраты, с использованием новейшей базы высокоинтенсивных сортов, комплексной защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, использованием удобрений, обеспечивающая реализацию потенциала сорта более 85 % и производительность труда менее 3.5 чел. ч/т зерна с урожайностью более 60 ц/га.

Подтверждением этого являются наши опыты [5], проведенные в Куйичирчикском районе Ташкентской области (2001 – 2006 гг.) на опытно-полевой базе АО «ВМКВ-Agromash». Здесь с максимальным использованием возможностей технологии и технических средств, имеющихся в республике, стабильно получали ранние урожаи хлопчатника (40 – 45 ц/га) и пшеницы (50 – 60 ц/га) с высоким качеством.

Совершенствование технологий возделывания сельхозкультур в настоящее время осуществляется в направлении сокращения числа технологических операций и уменьшения обрабатываемого слоя почвы. Широкое распространение получают нетрадиционные агротехнические приемы, в том числе минимальная и нулевая обработка почвы с использованием сельхозмашин нового поколения.

Все большее распространение получают технологии, основанные на научных знаниях, в том числе биологических особенностей роста сельхозкультур и животных. Другими словами, человек постоянно находится с растением или животным в диалоговом режиме, чутко реагирует на их потребности. Наглядным примером этого является технология капельного орошения растений.

Использование сложившихся годами, отработанных для наших специфических условий технологиями и техникой рентабельно вести сельскохозяйственное производство является проблематичным.

Необходимо разрабатывать универсальную, менее энергозатратную технику, способную выполнять различные работы. Большое значение имеют надежность и стоимость машин.

Как пример, остановимся подробно на наиболее энергоемких, затратных технологических операциях в хлопководстве: пахоте и машинной уборке хлопка.

Разработка двухъярусной вспашки на глубину до 38 см [6] и механизированного сбора раскрывшегося урожая хлопка-сырца комплексом машин, включающим вертикально-шпиндельную хлопкоуборочную машину, куракоуборочную машину, механический подборщик, опрыскиватель и полевой ворохоочиститель, являлась в свое время выдающимся достижением ученых, конструкторов и производственников [7]. Однако в современных условиях эти технологии являются затратными, малоэффективными. Глубокая двухъярусная пахота требует огромных прямых и косвенных расходов. Большие тяговые сопротивления, нагрузка на трактор требуют значительных затрат мощности и горючего. Необходимость менять лемеха плугов после износа каждые 15 – 18 га приводит к неоправданному расходу металла. Ежегодный проход пахотного агрегата по одному и тому же полю приводит к образованию подпахотной подошвы, которая снижает урожай. Необходимо пахотой на еще большую глубину или рыхлением разрушать подошву. А если пахать пересушенную, переуплотненную почву, образуются огромные глыбы, которые необходимо дополнительно разрушить и измельчить для обеспечения нормального сева хлопчатника.

Теперь об уборке хлопка. Известно [7], что требуемые 96 % урожая хлопка-сырца при отечественной технологии (первый сбор при 55 – 60 % раскрытия коробочек, второй – через 10 – 12 дней после 25 – 30 % раскрытия остальных коробочек) можно получить только при использовании вышеупомянутого комплекса машин. При этом вертикально-шпиндельная машина за один проход собирала 75 – 80 % урожая хлопка-сырца. Остальная часть урожая собиралась через 10 – 12 дней за второй проход машины. Итого за два прохода полнота сбора хлопка составляла 85 – 90 % при требуемых 96 %.

В образцовом хозяйстве «Пахтаарал» (более свежего примера нет), которое являлось полигоном для отработки машинного сбора хлопка, сезон уборки урожая длился 35 – 40 дней и заканчивался, как правило, в первых числах ноября [8]. В 1972 – 1976 гг. хозяйство в среднем производило 26.5 тыс. т хлопка-сырца в год. Из них 21.6 тыс. т или 81.5 % от валового сбора убиралось

машинами. На это затрачивалось в среднем 8750 чел. дней или 5.3 % от всех затрат на уборку. На сбор остального количества хлопка – 4.9 тыс. т или 18.5 % затрачивалось 156800 чел. дней или 94.7 %. Таким образом, при достигнутой полноте сбора хлопка вертикально-шпиндельной хлопкоуборочной машиной 85 – 90 % сбор оставшейся (10 – 15 %) части урожая «съедал» весь эффект машинного сбора. Причем на производстве хлопка в целом на 1 га посевной площади 55 – 60 % всех затрат труда приходилось на уборку урожая даже при высокой степени механизации.

Сегодня снова встает проблема одноразового сбора урожая хлопка. Что же для этого нужно? Во-первых, полное раскрытие коробочек (более 85 – 90 %) на кустах. Хлопковое поле (агрофон) должно быть подготовлено к машинной уборке, включая качественную дефолиацию. Во-вторых, хлопкоуборочная машина должна убирать не менее 96 % урожая за один проход первым сбором. Достичь этого на вертикально-шпиндельной машине пока не удалось.

Сегодня к началу сбора хлопка мы уже имеем хлопковые поля с полным раскрытием коробочек. Этому способствуют новые скороспелые сорта хлопчатника, уровень технологии выращивания хлопчатника, сокращение поливов...

В 2012 г. производство вертикально-шпиндельных машин было восстановлено на Ташкентском тракторном заводе. Испытания машин в 2012 – 2014 гг. подтвердили возможность сбора 85 – 90 % за два прохода.

С учетом полного раскрытия коробочек хлопчатника появилась возможность сбора хлопка, оставшегося на кустах, после первого прохода машины вторым проходом. Можно совместить по времени первый и второй сборы хлопка. Это позволяет собрать весь урожай хлопка в один бункер (одним сортом).

По принятой ранее технологии вертикально-шпиндельного сбора второй сбор проводили через 10 – 12 дней и сдавали хлопок на хлопкопункты ниже сортом. При этом на кустах оставалось 4.5 – 8 % и опадало на землю 3.82 – 6.13 % имеющегося на кустах хлопка.

Другими словами, сегодня мы пытаемся вписать вертикально-шпиндельную машину под требования горизонтально-шпиндельного сбора.

Относительно этого никаких рекомендаций нет. Возникают вопросы: Что делать с оставшимся после двух проходов машины хлопком (8 – 10 %)? Как настраивать вертикально-шпиндельный аппарат? Режимы работы аппарата, рабочие щели, скорости машины, ряд других параметров были разработаны для двух последовательных проходов машины, растянутых по времени. Подготовкой агрофона хлопкового поля и вертикально-шпиндельной машины сбор выращенного урожая хлопка распределялся на два прохода машины.

Сегодня, как отмечалось, вертикально-шпиндельная хлопкоуборочная машина начинает собирать хлопок при практически полном раскрытии коробочек. Значит нагрузка на аппараты возрастает, количество хлопка, проходящего через аппарат, растет, качество сбора снижается.

Если будет принята технология сбора хлопка, включающая сбор полностью раскрытого хлопка двумя проходами машины туда и обратно, по одним и тем же рядкам, то может быть не стоит максимально повышать количество собранного хлопка за первый проход (снижая качество сбора), а распределить урожай на два прохода. В любом случае нам надо повысить полноту сбора вертикально-шпиндельного аппарата. Для этого есть несколько апробированных технических решений. В том числе использование вместо двенадцатишпиндельных барабанов пятнадцатишпиндельных, составной высокий шпиндель с облегченным стержнем, четырехручьевые приводы шпинделей, система автоматического копирования аппаратами профиля поля.

Необходимо разработать новый государственный стандарт на хлопкоуборочные машины и хлопок-сырец машинного сбора. Установить новые требования к агрофону хлопкового поля, разработать новую технологию машинного сбора хлопка вертикально-шпиндельными хлопкоуборочными машинами, восстановить в хлопкоочистительной промышленности технологию транспортировки, хранения и переработки машинного хлопка-сырца. Проведение этих работ потребует укрепления научного и конструкторского потенциала заинтересованных отраслей.

Говоря о машинной технологии сбора хлопка, нельзя обойти вниманием и технику, готовящую агрофон для работы хлопкоуборочных машин. Практически все машины и орудия этого комплекса требуют коренного пересмотра с точки зрения ресурсосбережения, повышения производительности и качества работ. Все эти машины узко специализированы, как и хлопкоуборочная машина. Машины и орудия имеют свои специфические особенности. Каждая машина готовит аг-

рофон для работы последующей. Это сдерживает экспорт вертикально-шпиндельных машин вне этого комплекса.

Автор статьи не ставит задачей подробный анализ всех используемых машин. Отметим лишь некоторые их особенности и недостатки.

В первую очередь машины должны быть универсальными, способными нивелировать особенности местных условий.

Про двухъярусный плуг мы уже упоминали. Трудоемкую, затратную операцию двухъярусной вспашки легко заменяет новая технология, которая включает глубокое рыхление на 50 – 60 см раз в 3 – 5 лет, лазерную планировку полей раз в 10 – 12 лет и ежегодное предпосевное боронование дисковыми боронами [5]. Причем эта технология универсальна и применяется для возделывания всех полевых культур.

Возьмем отечественную сеялку с полозовидными сошниками и системой заделки семян хлопчатника. Ее возможности резко ограничены и по качеству предпосевного фона, и по скорости сева, и по нормам высева семян, и по качеству сева, и по перечню высеваемых культур.

Современная пневматическая сеялка с дисковыми рабочими органами более универсальна. Ее качественную работу не ограничивают комковатость поля и его пересушенность. Она может высевать различные культуры при нулевой и минимальной обработке почвы. Например, если отечественная четырехрядная сеялка с механическим принципом сева за сезон может засеять 60 – 70 га, то восьмирядная пневматическая сеялка «Кейс», производимая в ограниченных количествах в СП «УзКейсмаш», эти 60 – 70 га может засеять за один день. При пневматическом севе достигается экономия семян в 2 – 3 раза и более.

Требуется пересмотра конструкция хлопкового культиватора и других машин в направлении ресурсосбережения и универсализации.

Именно эти проблемы явились основой для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в 2012 – 2014 гг. в рамках Государственных научно-технических программ ККРНТ.

Научно-технические программы в области сельскохозяйственного машиностроения формировались, исходя из потребностей сельского хозяйства.

В реализации государственной научно-технической программы «Создание наукоемких, ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий, машин и установок для возделывания и уборки урожая технических, зерновых, масличных, кормовых и других культур, совершенствование эксплуатации и технического обслуживания» принимали участие 20 юридических лиц, в том числе вузы, НИИ, КБ и предприятия. Программа включала 9 проектов со сроками реализации 2012 – 2014 гг. Основная цель работ – решение продовольственной проблемы, в том числе: картофелеводство, производство зерновых культур (включая богару), укрепление кормовой базы пустынного животноводства, хлопководство. Разработано или модернизировано 28 машин и орудий, включая универсально-пропашные тракторы мощностью 100 – 120 л.с. и набор орудий к ним, в том числе плуги 2 – 3-корпусные, задненавесной культиватор с новыми рабочими органами, комбинированный агрегат для предпосевной обработки почвы за один проход с удобрителем и без удобрения, дисковый плуг для вспашки под зерновые и повторные культуры.

Здесь же следует отметить:

- комплекс машин для сева, обработки, сбора и защиты пастбищных культур (7 техн. ед.);
- комплекс машин для возделывания картофеля, включая овощеводческий трактор, машины для обработки почвы, сажалки, копалки (8 техн. ед.);
- комплекс восьмирядных машин для хлопководства на базе единой рамы с агрегатированием новыми тракторами (3 техн. ед.);
- вертикально-шпиндельная хлопкоуборочная машина повышенного технического уровня;
- комплекс машин для возделывания севооборотных культур на богаре (3 техн. ед.);
- технологические и конструктивные параметры универсально-пропашного трактора с усовершенствованным задним мостом и унифицированной навесной системой повышенной грузоподъемности;

— технология и техническое средство для сохранения влаги при возделывании хлопчатника (2 техн. ед.).

Отличие проектов 2012 – 2014 гг. от предыдущей трехлетки заключалось в том, что проблемы технологии возделывания культур рассматривались в комплексе с созданием технических средств. Если в реализации программы 2009 – 2011 гг. участвовали 7 исполнителей, то в 2012 – 2014 гг. – уже 20, в том числе с участием фундаментальной, прикладной, вузовской науки, конструкторских бюро и самих предприятий. Это позволяет интегрировать науку и производство, осуществлять кооперацию научных, конструкторских и производственных возможностей участников проектов, сокращать сроки внедрения машин при экономии средств.

Финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ осуществлялось Комитетом по координации развития науки и технологий (ККРНТ).

Структура НИОКР формировалась таким образом, чтобы после 2 – 3 лет работы часть или вся разработка нашли реализацию в инновационных проектах, где основным инвестором выступают сами предприятия. Например, внедрение в производство в СП «Агрихим» опрыскивателя универсального задненавесного и опрыскивателя садового пневмоструйного.

Опыт интеграции научных и производственных сил, полученный в 2008 – 2014 гг., позволил сформировать совместные комплексные проекты на 2015 – 2017 гг. с расширением числа участников.

Учитывая необходимость резкого повышения производства в ближайшие годы в Узбекистане плодовоовощной и животноводческой продукции, основой Государственной программы на ближайшую трехлетку стала разработка машин и механизмов для возделывания садов, виноградников, картофеля, кормовых и других культур. Причем упор при разработке новой техники делается на их максимальную универсализацию и унификацию, позволяющие формировать необходимые комбинированные агрегаты и комплексы. Это позволит снизить число используемых машин и повысить их производительность.

Координация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и дальше будет осуществляться Научно-техническим советом.

Создание холдинговой компании «Узагропромашхолдинг», несомненно, послужит дальнейшей консолидации научного, конструкторского и производственного потенциала Узбекистана.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Справочник по хлопководству. Ташкент: Узбекистан, 1981.
- [2] Матчанов Р.Д., Пальмин Г.И. Машины для хлопководства за 35 лет (конструктивные особенности, тенденции развития). Ташкент: Фан, 1996.
- [3] Энциклопедия хлопководства. Ташкент, 1985.
- [4] Ступин В.М. Энергосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур на Дальнем Востоке // Юбилейный сборник «Энергосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Дальнего Востока». Владивосток, 2006.
- [5] Матчанов Р.Д. Опыт внедрения водо-, ресурсосберегающих технологий возделывания хлопчатника и других культур в Узбекистане // Сб. докл. «Проблемы развития агроинженерной службы в фермерских хозяйствах». Гулбахор, 2008.
- [6] Рудаков Г.М., Байметов Р.И. Механизация основной и предпосевной обработки почвы // Сб. трудов. САИМЭ «Механизация и электрификация сельского хозяйства». Ташкент, 1981.
- [7] Матчанов Р.Д. Хлопкоуборочные машины. 1929 – 2010гг. Ташкент: Фан ва технология, 2011.
- [8] Тикменёв Н.В. Внедрение прогрессивной технологии и комплексной механизации возделывания и уборки хлопчатника в совхозе «Пахтаарал» // Сб. докл. «Дальнейшее развитие хлопководства в СССР». М.: Колос, 1979.

АО «ВМКВ-Agromash»

Дата поступления
27.03.2015

Р.Д. Матчанов. Замоनावий қишлоқ хўжалиги техникаларини ишлаб чиқишининг баъзи масалалари.

Мақолада универсал техниканинг янги авлодини ишлаб чиқишининг муаммолари масалалари кўриб чиқилган. Ўзбекистон шароитида икки ярусли ер ҳайдаш ва вертикал шпинделли пахта териш мисолида энерготежамкор технология учун машина яратилишига ёндоқлигини ўзгартириш кераклиги кўрсатилган. 2012-2014 йилларда Давлат илмий-техника дастури доирасида бажарилган янги ишланмалар ҳақида маълумотлар келтирилган.

R.D. Matchanov. Some issues of development of modern agricultural machinery

The article deals with the problematic issues of developing universal technology of the new generation. On the basis of bunk plowing and bunk vertical spindle cotton harvest the need to change the approach to building machinery for resource-saving technologies in Uzbekistan is shown. The information about new development in the framework of the State scientific and technical program for 2012-2014 years is shown.

В порядке обсуждения

УДК 624.131

Р.Х. РАСУЛОВ

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА И ВНЕШНЕЙ ПРИГРУЗКИ НА ВЕЛИЧИНУ МОДУЛЯ СЕЙСМОПРОСАДКИ ЛЁССА

Исследования на различных лёссовых грунтах показали, что влажность грунта, при которой степень заполнения пор водой является весьма высокой, например, свыше 0.8, не может служить показателем отсутствия уплотнения грунта при его сотрясении. Деформация сотрясаемого грунта, при всех прочих равных условиях, зависит от состояния плотности и прочности связей, а не от его макропористой структуры и влажности. Отмечено также сравнительно резкое снижение величины связности при дополнительном увлажнении лёссового грунта, что приводило к увеличению способности грунта к уплотнению.

Деформация лёссовых грунтов различной влажности при вибрации

№ грунта	Ускорение колебания, мм/с ²	Длительность колебания, с	Влажность грунта, %	Начальная пористость, %	Пористость после вибрации, %
3	2200	150	13	48.9	46.4
3	2200	150	18.7	48.2	47.0
3	2200	150	23.5	43.6	42.7
3	2200	150	25.3	48.2	44.2
7	2500	120	18.7	49.4	46.3
7	2500	120	22.5	46.0	42.2
7	2500	120	27.0	46.5	44.7
7	2500	120	29.4	47.8	45.0

В таблице приведены результаты испытания на вибрацию лёссовых грунтов при различной их влажности, из которой следует, что подверженные колебанию грунты, независимо от начальной влажности, уплотнялись в той или иной степени.

Анализ результатов исследований в рассматриваемом направлении свидетельствовал о том, что деформация (сейсмопросадка) лёссовых грунтов в условиях сотрясений является результатом весьма сложных процессов, протекающих в толще грунта, которые нельзя оценить по отдельным показателям, например, по макропористости, влажности и т.п. Деформация лёсса при сотрясении оказывается связанной с неустойчивой его структурой, которая определяется характерной для лёссовых грунтов слабой связностью структурных элементов [1 – 3].

Несмотря на длительную историю изучения лёссовых пород, происхождение, а также механизм их деформации, обусловленной их внутренней связью, остаются далеко не выясненными. Это объясняется разнообразием генезиса, свойств и состава, а также различными природными состояниями плотности – влажности пород. Зависимость модуля сейсмопросадки (e_p^c) от внешней нагрузки, приложенной на испытываемый образец грунта, прослеживается на рис. 1 и 2. На рис. 1 для двух лёссовых грунтов, подвергнутых испытанию, приведены данные по определению модуля сейсмопросадки (e_p^c) как при отсутствии внешней нагрузки ($p=0$), так и при наличии ее ($p=0.1 \cdot 10^5$ Па). Отмечается достаточно резкое уменьшение модуля e_p^c в условиях наличия пригрузки, что видно на рис. 2. Это снижение особенно интенсивно идет на первых ступенях прило-

жения нагрузки. В свете показаний данных графиков можно заключить, что роль пригрузки в нарушении структуры грунта оказывается не только благотворной, но и весьма эффективной в обеспечении антисейсмопросадочности увлажненных лёссов.

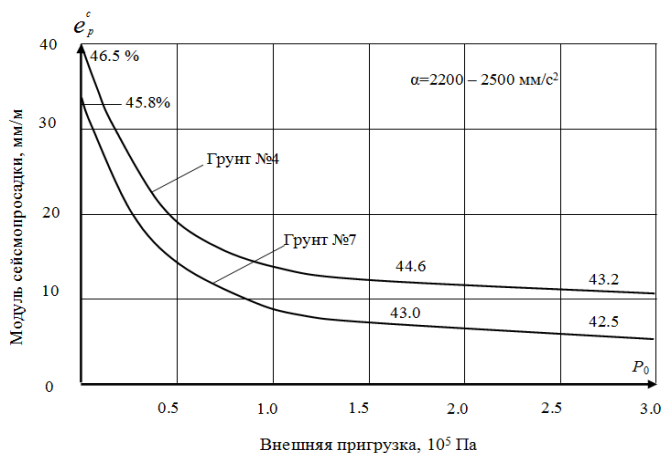


Рис. 1. Зависимость модуля сейсмопросадки от внешней нагрузки при колебании с ускорением 2200-2500 мм/с²

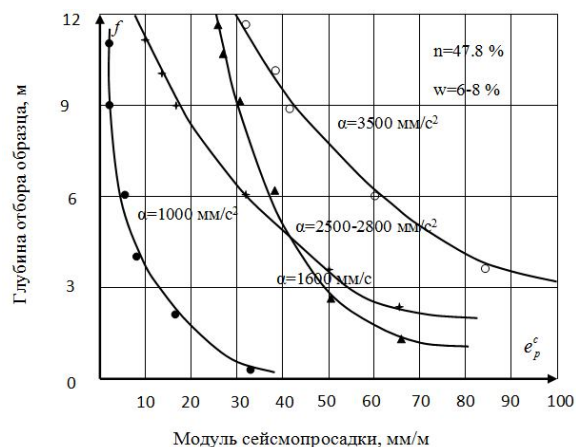


Рис. 2. Зависимость модуля сейсмопросадки по глубине толщи

Следует также заметить, что для грунтов с горизонтов глубин более 14 м при нагрузках порядка $1.5 \cdot 10^5$ Па и выше сейсмопросадка становится практически неощутимой. Это также подтверждает вышеотмеченные выводы об уменьшении величины модуля сейсмопросадки e_p^c с увеличением сжимающей нагрузки (p).

Так, например, для лёссовых грунтов верхнего горизонта (1 – 3 м) с пористостью $n=47.8\%$ при увеличении нагрузки на грунт от $0.5 \cdot 10^5$ до $2.5 \cdot 10^5$ Па величина модуля сейсмопросадки уменьшается от 46 до 5.6 мм/м. Для грунтов с глубины 17 – 20 м с пористостью $n=42-43\%$ и влажностью $w=10-12\%$ увеличение пригрузки в тех же пределах приводило к уменьшению модуля сейсмопросадки от 34 до 0.6 мм/м, что доказывает еще раз о существенном влиянии внешней пригрузки в сейсмопросадочном свойстве лёссового грунта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Джураев А. Влияние просадочности лёссовых грунтов территории г. Ташкента на сейсмический эффект при Ташкентском землетрясении 1966 г. // Материалы конференции «Научные и прикладные основы решения актуальных проблем сейсмологии». Ташкент, 2006. С. 282 – 285.
- [2] Жусупбеков А.Ж., Жакулин А.С. Экспериментальные исследования деформируемости грунтов // Труды III Центральноазиатского международного геотехнического симпозиума. Душанбе, 2005. С. 65 – 68.
- [3] Расулов Х.З. Сейсмостойкость грунтовых оснований. Ташкент: Узбекистан, 1984. – 192 с.

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Дата поступления
12.03.2015

Р.Х. Расулов. Лёсс грунтларнинг сейсмочўқувчанлик модулига грунтнинг намлиги ва ташиқ юкнинг таъсири

Динамик таъсир жараёнида грунтнинг зичлигини ҳолатини ифодаловчи сейсмочўқувчанлик модули билан грунтнинг намлиги ва ташиқ юкнинг таъсири орасидаги боғланишни тадқиқ этиш натижалари мақолада акс этган. Унда грунтнинг намлиги сейсмочўқувчанлик модулини ортишига, ташиқ юк эса, аксинча уни камайишига олиб келишига оид ҳулосага келинади.

R.H. Rasulov. The influence of soil moisture on the outside and the modulus seysmoprosadki loess

The summary. In article are considered questions of influence of humidity of a soil and loading on soil in value of the module seismoprocors, consolidation of a soil defining degree at dynamic influences on it. It is noticed, that humidity of a soil promotes increase, and external loading - to decrease in quantity of the module seismoprocors of soil.

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПО БЕЗОПАСНОЙ И НАДЕЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ

Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз начал выполнять научные исследования по инновационному проекту «Оценка и снижение сейсмического риска крупных особо важных гидротехнических сооружений и их оснований (проведение исследований, разработка методологии и их внедрение)».

Территория нашей республики является сейсмоактивной зоной, поэтому возможные землетрясения представляют наибольшую опасность для всех сооружений, в частности на плотины и образованные ими водохранилища.

Поскольку гидротехнические сооружения (ГТС) являются подпорными сооружениями, их разрушение сопряжено с катастрофическими последствиями, связанными с подтоплением больших территорий с различными объектами, включая населенные пункты.

Именно поэтому комплексная оценка уязвимости ГТС и определение уровня возможных потерь и последствий необходимы для заблаговременного планирования действий в области развития экономических и социальных программ.

В Узбекистане эксплуатируются более 200 крупных и особо важных ГТС, из этого числа более 20 ГЭС построены 60 – 70 лет тому назад, в частности эксплуатируемые Бозсуйская ГЭС на канале Бозсу (1923 г.) в г. Ташкенте, Аккавак-2 (30 – 40 гг.), Фархадская ГЭС (1949 г.), Чарвакская ГЭС (1977 г.), Гиссаракская ГЭС (1990 г.), Каркидонское водохранилище (1962 – 1964 г.), Каттакурганское водохранилище (1942 г.).

Поэтому в качестве объектов исследования были выбраны водохранилища, различные по высоте, емкости, сейсмичности площадки, классу сооружения, годам строительства и реконструкции:

- грунтовая плотина Гиссаракской ГЭС (высота – 131 м; емкость водохранилища – 171 млн м³; класс сооружения – I; сейсмичность района – 8 баллов; основное назначение – ирригация; административные районы, затрагиваемые водохранилищем – Шахрисабзский р-н Кашкадарьинской области, годы строительства – 1983 – 1988; реконструкции не выполнялись);

- Каттакурганское водохранилище (высота – 31 м; емкость водохранилища – 600 млн м³; класс сооружения – II; сейсмичность района – 7 баллов; основное назначение – ирригация; административные районы, затрагиваемые водохранилищем – Каттакурганский р-н Самаркандской области, годы строительства – 1940 – 1941 гг.; 1946 – 1953 гг.; 1962 – 1968 гг.; реконструкции – 1962 – 1968 гг.; 1979 – 1984 гг.);

- Каркидонское водохранилище (высота – 66 м; емкость водохранилища – 216 млн м³; класс сооружения – I; сейсмичность района по проекту – 8 баллов (по КМК – 9 баллов); основное назначение – ирригация; административные районы, затрагиваемые водохранилищем, – долина Куvasай Ферганской области, годы строительства – 1962 – 1964 гг.).

Исполнителями гранта совместно с представителями технической инспекции соответствующего облводхоза было обследовано техническое состояние вышеуказанных объектов, состояние основных сооружений: плотин, водовыпусков (подземных тоннелей), механического оборудования (затворов), проведен анализ натурных наблюдений, установлена инженерно-сейсмометрическая служба на Каттакурганском водохранилище, Гиссаракской плотине, хотя нет сейсмомониторинга.

Главной задачей проводимых исследований является не просто оценка сейсмической опасности и оценка сейсмостойкости ГТС, а проведение комплексной и, вместе с тем, детальной оценки риска и разработка рекомендаций, мероприятий и Мастер-планов по управлению риском, ориентированных на снижение возможного экономического и социального ущерба на основе использования современных технологий оценки и снижения риска [1].

Целью выполняемого гранта являются:

- оценка и снижение сейсмического риска ГТС для проведения комплекса мероприятий по максимальному уменьшению возможного ущерба в случае чрезвычайных ситуаций;
- повышение уровня надежности и безопасной эксплуатации ГТС на перспективу;

– повышение эффективного управления водными и гидроэнергетическими ресурсами в целях гарантированной обеспеченности водно-энергетическими ресурсами, устойчивого экономического развития и социально-экологической безопасности страны и др.

Оценка сейсмического риска требует сбора обширной информации:

- о тектонике региона, сейсмологических и инженерно геологических данных;
- о результатах инвентаризации ГТС;
- о системах жизнеобеспечения и их сейсмической уязвимости.

В задачу проекта входит разработка методологии, содержащей современные подходы оценки и снижения сейсмического риска ГТС. Она будет включать в себя оценочные критерии сложных процессов для потенциально опасных сооружений с целью принятия обоснованных решений, обеспечивающих безопасность сооружений с использованием современных информационных технологий, связанных с применением геоинформационных систем и компьютерно-смоделированных сценариев сейсмоопасных явлений. Это позволит максимально упростить, упорядочить и вывести на качественно новый уровень составление и представление аналитической и оценочной информации для всех видов ГТС, расположенных в республике. Методику необходимо будет апробировать на нескольких характерных ГТС.

Для применения современных подходов с оценочными критериями сложных процессов оценки и соответствующих планов, направленных на снижение риска, планируется проведение обучающих мероприятий в виде учебно-практических семинаров.

Практическая реализация результатов гранта даст возможность чётко определить первоочередные, среднесрочные и долгосрочные задачи по обеспечению безопасности ГТС, что будет основой для более эффективного, рационального и адресного использования ресурсов, выделяемых для реконструкции и ремонта ГТС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rashidov T.R., Kondratiev V.A., Akhmedov M.A., Tuchin A.I. Strategy of reduction of seismic risk for hydro-technical structures // Proceeding of the international conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering. Tokyo. 2009. P. 975 – 981.

Институт сейсмостойкости сооружений АН РУз

Дата поступления
07.04.2015

К.Д. Саямова. Республиканинг сейсмик хуудларда гидротехник иншоотларнинг хавфсиз ва ишончли эксплуатация қилишининг асосий жиҳатлари

Мақолада маҳаллий шароитларга боғлиқ ҳолда, гидротехник иншоотларнинг ишончлилиги ва хавфсизлиги бўйича ҳалқаро тажрибани ҳисобга олиб уларни зилзилабардошлигини кўриб чиқиш кераклиги кўрсатиб ўтилган.

K.D. Salyamova. The main aspects of the safe and reliable operations of hydraulic structures in seismic regions of the country

The need to review seismic stability of hydraulic structures (dams), taking into account international experience in their reliability and safety in relation to local conditions is shown.

УЎК 621.01

В. ТУРДАЛИЕВ, А. ДЖУРАЕВ, А. ТЎХТАҚЎЗИЕВ

ТУПРОҚҚА ЭКИШ ОЛДИДАН ИШЛОВ БЕРУВЧИ ВА МАЙДА УРУҒЛИ ЭКИНЛАРНИ ЭКУВЧИ КОМБИНАЦИЯЛАШГАН АГРЕГАТ СИНОВ НАТИЖАЛАРИНИНГ ТАҲЛИЛИ

Қишлоқ хўжалигида тупроққа экиш олдидан ишлов бериш бир неча агрегатлардан фойдаланиб ўтказиладиган қуйидаги агротехник тадбирлардан ташкил топган: бороналаш, бир йўла минерал ўғит солиш билан бирга чизеллаш, текислаш ва молалаш. Ҳар хил агрегатлар билан даладан бир неча марта ўтиб ишлов берилганда тупроқ ортикча зичлашади, унинг структураси ёмонлашади ва кўп микдордаги ёнилғи-мойлаш материаллари сарфланади. Бундан ташқари кўпчилик хўжаликларда экиш мавсумида 0-10 см қатламдаги тупроқ агрегат таркибининг 40 – 70 % фозини майдаланиши қийин бўлган кесаклар ташкил қилади (диаметри 10 см ва ундан юқори бўлган) [1]. Бундай кесакларнинг мавжудлиги тупроқни экишга тайёрлаш ва майда уруғли экинларни экиш сифати ҳамда униб чиқишига салбий таъсир кўрсатади.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99

[illegible]

Комбинациядашган агрегатнинг тажрибавий нусхаси тайёрланди ва Пахта селекцияси

Средний удельный вес в тоннаже 0,10 см. изломанных угля составляет 16,9 %

Синхронизатор диаметры 340 мм; пинцеты сены 3-го и 4-го до 5-го бьющего фрезерного барабана;

Фрезали барзбон пишокдари сочини тупрокнинг уваланиш сифатига таъсирини ўрганишда

Одиницац цетиклар тахидидан кўринадиган фрезали барабан пишоклари сохи 3 та

[illegible]

Тажриба-синов дала участкасидаги ишлов берилган тупроқнинг уваланиш сифати

Фрезадаги пичоқлар сони, дона	Куйидаги ўлчамли тупроқ фракцияларининг миқдори, %		
	10 мм дан кичик	10 – 25 мм	25 мм дан Катта
3	73.8	13.9	12.3
4	78.5	13.8	7.7
5	81.6	11.5	6.9

Фрезали барабан билан ишлов берилган тупроқ қатламини уваланиш сифатини текширишдан ташқари тупроқ зичлиги ҳам ўрганилди. Ўлчамлар диаметри 50 мм, баландлиги 30 мм ли махсус цилиндр ёрдамида амалга оширилди. Бунда тупроқнинг 0 – 3, 3 – 6, 6 – 9 ва 9 – 12 см қатламлардаги зичлиги ўлчанди (2-жадвал). Фрезали барабан пичоқлари сони 3 та бўлганда 0 – 3 см, 3 – 6 см ва 6 – 9 см қатламлардаги тупроқ зичлиги 1.22 – 1.24 г/см³ оралиғида, 9 – 12 см қатламдагиси эса 1.30 г/см³, пичоқлар сони 4 та ва 5 та бўлганда 0 – 3 см, 3 – 6 см ва 6 – 9 см қатламларда 1.12 – 1.18 г/см³ оралиғида, 9 – 12 см қатламда 1.30 г/см³ лиги аниқланди.

Тажриба-синов дала участкасидаги ишлов берилган тупроқ зичлиги

Фрезадаги пичоқлар сони, дона	Намуна олинган қатлам зичлиги, г/см ³			
	1-қатлам 0 – 3 см	2-қатлам 3 – 6 см	3-қатлам 6 – 9 см	4-қатлам 9 – 12 см
3	1.22	1.22	1.24	1.30
4	1.14	1.13	1.18	1.30
5	1.12	1.14	1.15	1.30

Маида уруғли экинларнинг уруғларини сифатли экиш ва қийғос ундириб олиш учун ишлов берилган қатламда ўлчами 10 мм дан кичик фракциялар миқдори камида 80 %, тупроқнинг зичлиги 1.1 – 1.2 г/см³ оралиғида бўлиши лозим [2].

1 ва 2-жадвалларда келтирилган маълумотлар бўйича бу талабларни бажариш учун комбинациялашган агрегатнинг фрезали барабани 5 та пичоқ билан таъминланган бўлиши лозим.

АДАБИЁТЛАР

- [1] Мамахонов А., Джураев А., Мухамедов Ж. Тупроққа экишдан олдин ишлов бериш агрегатни ишчи органларини такомиллаштириш. Республика илмий-амалий анжумани, Жиззах, 2009 й.
[2] Сборник исходных требований на тракторы и сельскохозяйственные машины. М., 1988. Т. 42.

Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти

24.03.2015 й.
қабул қилинган

В. Турдалиев, А. Джураев, А. Тухтакузиев. Анализ результатов испытаний комбинированного агрегата для предпосевной обработки почвы и сева мелкосеменных культур

В статье приводятся сведения о результатах испытаний экспериментального образца нового комбинированного агрегата для полосной предпосевной обработки почвы и сева сельскохозяйственных мелкосеменных культур в полевых условиях.

V. Turdaliev, A. Djuraev, A. Tuxtakuziev. The analysis of results of tests of the combined unit for preseeding processing of soil and sowing of small seed cultures

In article data on results of tests of the experimental sample of the new combined unit for strip preseeding processing of soil and sowing of agricultural crops with small seeds in field conditions are resulted.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ОТТЯЖКИ НА НАТЯЖЕНИЕ ПЕТЛИ ЦИЛИНДРА НА ДВУХФОНТУРНЫХ ТРИКОТАЖНЫХ МАШИНАХ

Стабильность и однородность структуры трикотажных полотен являются основными критериями оценки конструктивного совершенства вязальной машины или отдельных её механизмов, которые непосредственно участвуют в процессе петлеобразования [1].

Неровнота параметров, характеризующих структуру трикотажа, определяется стабильностью натяжения нити, равномерностью усилий оттяжки, конструктивными особенностями машины, ровнотой нити, ее физико-механическими показателями, динамикой машины и другими факторами.

Создание необходимого натяжения полотна и отвод его от петлеобразующих органов трикотажных машин осуществляют механизмы оттяжки, намотки и приема трикотажа.

С целью обеспечения стабильности и однородности петельной структуры трикотажных полотен предложена новая конструкция направителя для оттяжки петель на двухфонтурной кругловязальной машине за счет обеспечения равенства сил оттяжки петель от игл диска и петель от игл цилиндра [2].

Конструкция состоит из направителя 1 в виде кольца круглого сечения, установленного внутри цилиндра 10 горизонтально (рис. 1). В зоне петлеобразования иглы цилиндра 10 образуют петли 8, а иглы 6 диска 5 образуют петли 7.

Для обеспечения достаточной ровноты полотен петельной структуры необходимым является равенство натяжения петель цилиндра и диска на кругловязальной трикотажной машине.

Для этого необходимо изучение влияния параметров зоны оттяжки петель цилиндра на натяжение оттяжки. В работе [3] было получено выражение для расчета натяжения петель цилиндра в зоне оттяжки в виде

$$T_4 = f g \rho l_{BC} \cos \beta_2 + (T_{cp} + T_a \sin \omega t) e^{f(M+N+\theta-\theta_1)} \quad (1)$$

где $T_{cp} = 12.4 c H$ – среднее значение входного натяжения полотна цилиндра; T_a – амплитудное значение; $(10 - 15) \%$ от T_{cp} – входного натяжения; ω – частота изменения колебаний входного натяжения; f – коэффициент трения полотна цилиндра о поверхность кольца иглы цилиндра; g – ускорение свободного падения; ρ – линейная плотность нити, из которой иглами цилиндра вяжется трикотажное полотно; l_{BC} – длина петли в зоне BC цилиндра; β_2 – угол наклона зоны BC цилиндра; $M = 3\pi/2 - \alpha - \beta_1 + \beta_2$; $N = \pi/2 - \beta_1 + \gamma_1$.

Из полученной выше формулы (1) видно, что натяжение петли цилиндра при оттяжке зависит в основном от углов β_1 , β_2 , α , силы трения нити о поверхность цилиндра и от угла γ , а также от среднего значения начального натяжения нити T_{cp} .

На рис. 2, а представлены графические зависимости изменения натяжения петли цилиндра трикотажной машины при изменении угла β_1 , а на рис. 2, б – при изменении угла β_2 . Угол β_1 является углом подачи нити перед соприкосновением с цилиндром трикотажной машины, а угол β_2 является углом транспортирования нити по верхнему торцу цилиндра. Из полученных графических зависимостей видно (см. рис. 2, а), что с увеличением угла β_1 натяжение петли цилиндра при её оттяжке уменьшается по линейной закономерности.

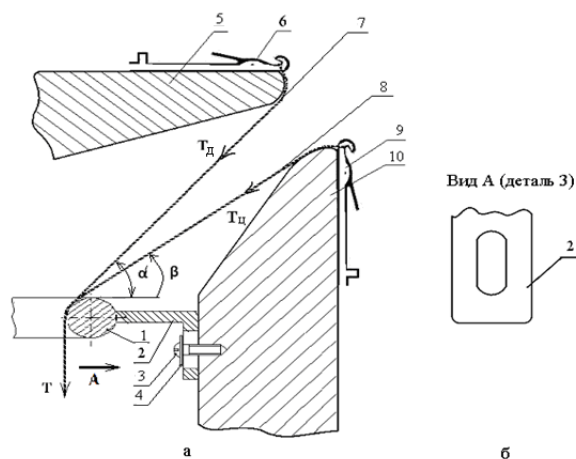


Рис. 1. Схема рекомендуемого направителя для оттяжки трикотажного полотна на двухфонтурных кругловязальных машинах

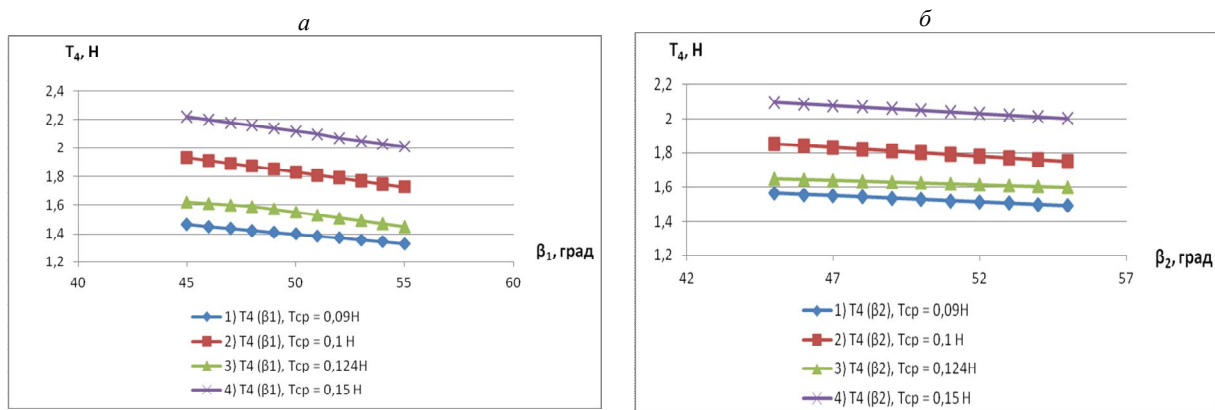


Рис. 2. Графические зависимости изменения натяжения петли цилиндра трикотажной машины при изменении углов β_1 и β_2

Это объясняется тем, что увеличение угла β_1 позволяет уменьшить площади контакта с поверхностью цилиндра, а также более прямолинейно направить нить к зоне оттяжки. Следует отметить, что увеличение среднего значения начального натяжения нити T_{cp} приводит, в основном, к параллельному смещению графиков по вертикали вверх. Увеличение угла β_2 приводит к уменьшению натяжения нити петли цилиндра при её оттяжке (см. рис. 2, б). Это объясняется тем, что увеличение угла β_2 приводит к уменьшению угла обхвата нитью верхней кромки цилиндра трикотажной машины.

Сравнительный анализ показывает, что при увеличении угла β_1 от 45° до 55° при $T_{cp}=0.1$ Н натяжение петли при её оттяжке уменьшается от 1.92 Н до 1.71 Н, а при подобном изменении угла β_2 натяжение T_4 уменьшается от 1.83 до 1.78 Н. При уменьшении угла β_1 натяжение T_4 уменьшается на 0.21 Н, а при увеличении угла β_2 – на 0.05 Н. Это позволяет сделать вывод о том, что, чтобы изменить натяжение T_4 , более целесообразным считается изменение угла β_1 , нежели угла β_2 .

На рис. 3, а представлены графические зависимости изменения натяжения петли цилиндра при её оттяжке с увеличением угла α . Угол α является углом обхвата нити направителя при её поступлении в зону оттяжки. Из рис. 1 и 3, а видно, что увеличение угла α приводит к увеличению натяжения T_4 . При этом с увеличением угла α от 100° до 130° при $T_{cp}=0.124$ Н натяжение T_4 увеличивается от 1.22 до 1.41 Н, а при $T_{cp}=0.15$ Н натяжение петли цилиндра увеличивается от 1.72 до 2.04 Н.

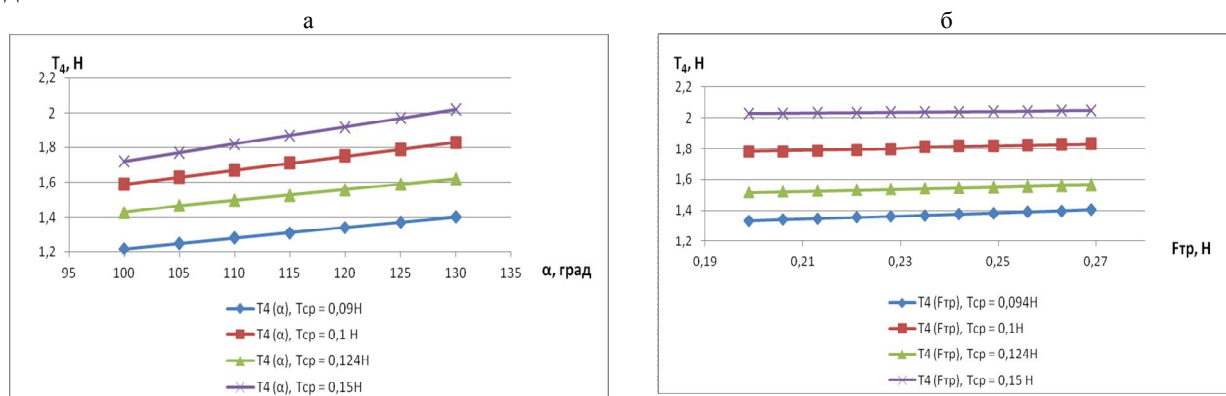


Рис. 3. Графики зависимости натяжения петли цилиндра при её оттяжке от угла α и силы трения $F_{тр}$

В рекомендуемой конструкции зоны оттяжки петель цилиндра и диска натяжение оттяжки нитей зависит от расположения направителя. Следует отметить, что расположение направителя нитей зависит от углов γ_1 и γ_2 . Чем больше угол γ_1 , тем больше натяжение T_4 , так как увеличение угла γ_1 приводит к увеличению расстояния по горизонтали расположения нитенаправителя, тем самым к увеличению угла обхвата нити при её оттяжке в трикотажной машине.

На рис. 3, б представлены графические зависимости изменения натяжения петли цилиндра от силы трения нити о поверхность торца цилиндра. Анализ графиков показывает, что с

увеличением силы трения от 0.2 до 0.27 Н натяжение нити при оттяжке возрастает от 1.35 до 1.41 Н при $T_{cp}=0.094\text{Н}$, а при $T_{cp}=0.15\text{ Н}$ натяжение T_4 увеличивается от 2.08 до 2.12 Н.

Таким образом, изменяя углы α , β_1 , β_2 , γ и натяжение T_{cp} , можно регулировать значение натяжения петли цилиндра при ее оттяжке.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гарбарук В. Н. Проектирование трикотажных машин. Л.: Машиностроение, 1980.
- [2] Мукимов М., Джураев А.Д., Усмонкулов Ш.К., Алланиязов Г.Ш. Определение натяжения петель полотна при оттягивании на двухфонтурной трикотажной машине // Сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции «Современные инновации в науке и технике». Юго-Западный государственный университет. Курск. Россия. 17 апреля 2014. Т. 3. С. 127 – 130.
- [3] Усмонкулов Ш.К., Алланиязов Г.Ш., Джураев А.Д., Мукимов М.М., Баубеков С.Д. Направитель для оттяжки трикотажного полотна на двухфонтурных кругловязальных машинах // Международная научно-практическая конференция «Тюркская цивилизация в эпоху глобализации: взаимосвязь тысячелетий». Таразский инновационно-гуманитарный университет. Тараз. Казахстан. 17 мая 2014.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Дата поступления
12.12.2014

Ш.К. Усмонкулов, М.М.Мукимов, А.Д. Джураев. Икки фортунали трикотаж машиналари тортиши зонаси параметрларни цилиндр ҳалқаси таранглигига таъсирини таҳлили

Мақолада икки фортунали трикотаж машинаси тортиши зонаси параметрларини цилиндр ҳалқаларининг таранглигига таъсирини таҳлил қилиш натижалари келтирилган.

Sh.K. Usmonkulov, M.M. Mukimov, A.D. Djuraev. Analysis of influence of parameters of a delay zone on a tension of loops of the cylinder on double needle beds knitting machines

In article results of the analysis of influence of parameters of a delay zone on a tension of loops of the cylinder on double needle beds knitting machines are resulted.

УДК 505.064.36

С.И. ХУДАЙКУЛОВ, А.М. ФАТХУЛЛАЕВ, Ф.Х. НИШОНОВ

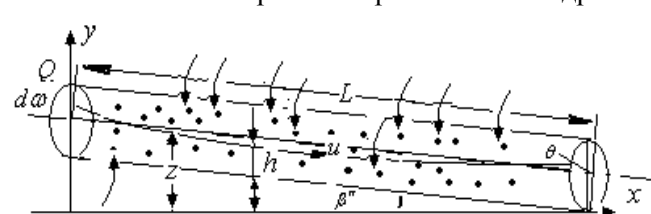
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА В ДРЕНАЖЕ С ПЕРЕМЕННЫМ РАСХОДОМ ВДОЛЬ ПУТИ

При решении ряда практических задач гидротехники приходится иметь дело с потоками переменным расходом вдоль пути. Такие задачи наблюдаются при исследовании фильтрации в оросительных каналах, при водозаборе из источника, при проектировании и эксплуатации коллекторно-дренажной сети, при капельном орошении и т.п.

Решение вышеуказанных задач связано с исследованием движения потока воды при неустановившемся течении [1 – 3 и др.].

В данной статье рассматривается движение потока с переменным расходом вдоль пути в закрытом горизонтальном трубопроводе с учетом уклона и гидравлического сопротивления.

Поток в закрытом горизонтальном дренаже движется с возрастающим вдоль пути расходом вследствие попутного притока воды.



Закрытый горизонтальный дренаж

дренажной системы (в Ферганской области), эффективность их работы очень низкая и не обеспечивает необходимого понижения уровня грунтовых вод (рисунок).

С точки зрения теории фильтрации количество жидкости, проникаемой в дренаж, пропорционально разности давлений в грунте и в дренажной трубе и оно достигает наибольшего значе-

ния при безнапорном движении воды в дрене [4]. Из гидравлики безнапорного движения известно, что наибольшая пропускная способность трубопровода с наименьшим напором достигается при соотношении глубины воды и диаметра трубы $h/D=0.9$.

Рациональное использование дренажной трубы возможно при удовлетворении данного соотношения. Этого можно достичь изменением диаметра трубопровода и уклона [5].

Если уклон дна дренажа не равен нулю, то, обозначая угол наклона дна трубы к горизонту через α_1 , имеем

$$dz = dh + \sin \alpha_1 dx. \quad (1)$$

Когда приток расхода вдоль пути равномерен, тогда имеет место равенство:

$$\frac{Q}{Q_k} = \frac{x}{L}, \quad (2)$$

где L – длина трубопровода; Q_k – конечный расход.

Воспользовавшись равенством $dQ = \omega du + u d\omega$ из (1) и (2), получим

$$dx = \frac{L}{Q_k} (\omega du + u d\omega), \quad dz = dh + \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} (\omega du + u d\omega).$$

Применяя граничное условие (обозначения соответствуют обозначениям работы [3])

$$u = u_0, \text{ при } \omega = \omega_0, \quad (3)$$

находим

$$\frac{\alpha u^2}{g} = -\frac{1}{\omega} \int_{\omega_0}^{\omega} \omega dz.$$

Подставляя ω из уравнений, приведенных перед (3), имеем

$$\frac{\alpha u^2}{g} = \frac{1}{\omega} \left[\int_h^{h_0} u dh + \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \int_{\theta_0}^{\theta} \omega \left(u \frac{d\omega}{d\theta} + \frac{du}{d\theta} \right) d\theta \right] \int_{\omega_0}^{\omega} dz. \quad (4)$$

Последняя формула после несложных преобразований примет вид

$$u^2 + \frac{gL\omega \sin \alpha_1}{2\alpha Q_k} + \frac{g}{\beta\omega} \left[\int_{\theta_0}^{\theta} u \frac{dh}{d\theta} d\theta + \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \int_{\theta_0}^{\theta} u \frac{d\omega}{d\theta} d\theta \right] = 0 \quad (5)$$

Отсюда находим

$$u = -\frac{gL\omega \sin \alpha_1}{2\alpha Q_k} \pm \left[\left(\frac{gL\omega \sin \alpha_1}{2\alpha Q_k} \right)^2 - \frac{g}{\alpha\omega} \int_{\theta_0}^{\theta} u \frac{dh}{d\theta} d\theta - \sin \alpha_1 \frac{g}{\alpha\omega} \frac{L}{Q_k} \int_{\theta_0}^{\theta} u \frac{d\omega}{d\theta} d\theta \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Таким образом, получено нелинейное интегродифференциальное уравнение (6). Решение этого уравнения позволит записать характер изменения скорости.

Последнее уравнение можно заменить обыкновенным нелинейным уравнением вида

$$\frac{2\alpha}{g} u \frac{du}{d\theta} - \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \frac{r^2}{2} (\theta - \sin \theta) \frac{du}{d\theta} = -\frac{2\alpha}{g} \frac{1 - \cos \theta}{\theta - \sin \theta} u^2 + \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \frac{r^2}{2} (1 - \cos \theta) u - \frac{1}{2} \sin \theta \quad (7)$$

с граничным условием

$$u = 0 \text{ при } \theta = \theta_0. \quad (8)$$

Решаем последнее уравнение для случая малого уклона, тогда, согласно [7],

$$u = u_0 + u', \quad (9)$$

где u_0 – решение уравнения задачи без учета сопротивления и уклона дренажа; u' – малая величина [6].

Подставляя (9) в (7) и пренебрегая членами второго порядка малости, получим

$$\begin{aligned} & \frac{2\alpha}{g} u_0 \frac{du_0}{d\theta} + \frac{2\alpha}{g} \frac{1 - \cos \theta}{\theta - \sin \theta} u_0^2 + \frac{1}{2} \sin \alpha_1 + \left[\frac{2\alpha}{g} u_0 - \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \frac{r^2}{2} (\theta - \sin \theta) \right] \times \\ & \times \frac{du'}{d\theta} + \left[\frac{2\alpha}{g} \frac{du_0}{d\theta} - \frac{2\alpha}{g} \frac{1 - \cos \theta}{\theta - \sin \theta} 2u_0 + \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \frac{r^2}{2} (1 - \cos \theta) \right] u' = \\ & = \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \frac{r^2}{2} (\theta - \sin \theta) \frac{du_0}{d\theta} + \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \frac{r^2}{2} (1 - \cos \theta) u_0. \end{aligned} \quad (10)$$

Введя следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \varphi_1(\theta) &= \frac{2\alpha}{g} u_0 - \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \frac{r^2}{2} (\theta - \sin \theta), \\ \varphi_2(\theta) &= \frac{2\alpha}{g} \frac{du_0}{d\theta} - (1 - \cos \theta) \left[\frac{4\alpha u_0}{g(\theta - \sin \theta)} - \frac{L}{2Q_k} \sin \alpha_1 \right], \\ \varphi_3(\theta) &= \frac{Lr^2 \sin \alpha_1}{2Q_k} \left[(1 - \cos \theta) u_0 + (\theta - \sin \theta) \frac{du_0}{d\theta} \right], \end{aligned}$$

из (10) имеем

$$\frac{du'}{d\theta} + \frac{\varphi_2(\theta)}{\varphi_1(\theta)} u' = \frac{\varphi_3(\theta)}{\varphi_1(\theta)} \quad (11)$$

с граничным условием $u' = -u_0(\theta)$ при $\theta = \theta_{00}$. Здесь обозначено θ_{00} в отличие от θ_0 для случая нулевого уклона. Решение уравнения (11) имеет вид

$$u' = e^{-x} \left(\int_{\theta_{00}}^{\theta} \frac{\varphi_3(\theta)}{\varphi_1(\theta)} e^x d\theta + C_1 \right) \quad (12)$$

Интеграл (12) представим как $x = I_1 - 2I_2$,

$$\text{где } I_1 = \int \frac{\frac{2}{g} \frac{du_0}{d\theta} - \frac{Lr^2 \sin \alpha_1}{2Q_k} (1 - \cos \theta)}{\frac{2\alpha}{g} u_0 - \frac{Lr^2 \sin \alpha_1}{2Q_k} (\theta - \sin \theta)} d\theta \quad \text{и} \quad I_2 = \int \frac{\left(\frac{2\alpha u_0}{g(\theta - \sin \theta)} - \frac{Lr^2 \sin \alpha_1}{2Q_k} \right) (1 - \cos \theta)}{\frac{2\alpha}{g} u_0 - \frac{Lr^2 \sin \alpha_1}{2Q_k} (\theta - \sin \theta)} d\theta.$$

Вычислив интегралы, получим следующее выражение: $x = \ln \varphi_1 - 2 \ln(\theta - \sin \theta)$,

$$\text{где } I_2 = \int \frac{\varphi_2}{\varphi_1} d\theta.$$

Из граничного условия определим c_1 в виде: $C_1 = -u_0(\theta_{00}) e^{x(\theta_{00})}$. Тогда из (12) имеем

$$u' = e^{\left(-\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\theta \right)} \left(\int_{\theta_{00}}^{\theta} e^{\left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\theta \right)} d\theta \right) - e^{\left(-\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\theta \right)} u_0(\theta_{00}). \quad (13)$$

Подставляя последнее выражение в (13), после несложных преобразований находим

$$u' = \frac{(\theta - \sin \theta)^2}{\varphi_1} \int_{\theta_{00}}^{\theta} \frac{\varphi_3}{(\theta - \sin \theta)^2} d\theta - \frac{\varphi_1(\theta_{00})}{\varphi_1(\theta)} \frac{(\theta - \sin \theta)^2}{(\theta_{00} - \sin \theta)} u_0(\theta_{00}).$$

Таким образом, для u имеем

$$u = u_0 - \frac{\varphi_1(\theta_{00})}{\varphi_1(\theta)(\theta_{00} - \sin \theta_{00})} u_0(\theta_{00}) - \frac{(\theta - \sin \theta)^2}{\varphi_1} \int_{\theta_{00}}^{\theta} \frac{\varphi_3}{(\theta - \sin \theta)^2} d\theta. \quad (14)$$

Теперь, определяя θ_{00} , т.е. для определения критического угла, воспользуемся известным выражением для удельной энергии сечения: $E = h + \frac{\alpha Q^2}{2\omega^2 g}$, при $\frac{\partial E}{\partial h} = 0$ имеем $1 - \frac{\alpha Q^2}{2\omega^3 g} \frac{d\omega}{dh} = 0$.

$$\text{Поскольку } \frac{d\omega}{dR} = 2r \sin \frac{\theta_{kp}}{2}, \text{ то } 1 - \frac{\alpha Q^2 r \sin \frac{\theta_{kp}}{2}}{g \left[\frac{r^2}{2} (\theta_{kp} - \sin \theta_{kp}) \right]^3} = 0.$$

Отсюда получим уравнение

$$2\alpha Q^2 \sin \frac{\theta_{kp}}{2} - g \left[\frac{r^2}{2} (\theta_{kp} - \sin \theta_p) \right]^3 = 0. \quad (15)$$

Определяя θ_{00} из уравнения (15) и подставляя его в (14), получим уравнение для определения θ_{00}

$$u_{kp} = u_0(\theta_{kp}) - \frac{\varphi_1(\theta_{00})(\theta_{kp} - \sin \theta_{kp})^2}{\varphi_1(\theta_{kp})(\theta_{00} - \sin \theta_{00})} u_0(\theta_{00}) + \frac{(\theta_{kp} - \sin \theta_{kp})^2}{\varphi_1(\theta_{kp})} \int_{\theta_{00}}^{\theta_{kp}} \frac{\varphi_3(\theta)}{(\theta - \sin \theta)^2} d\theta_{00},$$

которое преобразуем к виду

$$\begin{aligned} u_{kp} = u_0(\theta_{kp}) - (\theta_{kp} - \sin \theta_{kp})^2 \cdot \left\{ \left[\frac{2\alpha}{g} u_0(\theta_{00}) - \frac{Lr^2 \sin \alpha_1}{2Q_k} (\theta_{00} - \sin \theta_{00}) \right] \frac{u_0(\theta_{00})}{(\theta_{00} - \sin \theta_{00})^2} + \right. \\ \left. + \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \left[\frac{gr^3}{\alpha g} \int_{\theta_{00}}^{\theta_{kp}} \frac{\sin \frac{\theta}{2} d\theta}{u_0(0)(\theta - \sin \theta)} - \frac{r^2}{4} \int_{\theta_{00}}^{\theta_{kp}} \frac{u_0(0)(1 - \cos \theta)}{(\theta - \sin \theta)^2} d\theta \right] \right\} \times \\ \times \left[\frac{2\alpha}{g} u_0(\theta_{kp}) - \frac{Lr^2 \sin \alpha_1}{2Q_k} (\theta_{kp} - \sin \theta_{kp}) \right]^{-1}. \end{aligned}$$

Уравнение (4) при учете сопротивления трубы легко привести к виду

$$\frac{\alpha u^2}{g} = + \int \frac{\alpha u^2}{g\omega} d\omega + \sin \alpha_1 \frac{L}{Q_k} \int (u d\omega + \omega du) + h + h_e = \text{const}, \quad (16)$$

где h_e – потери на трение, выражаемые аналогично случаю постоянного расхода формулой

$$h_e = \lambda \frac{L}{d} \frac{\alpha u^2}{2g}.$$

Здесь λ — коэффициент гидравлического трения. В отсутствие уклона из (16) легко получить

$$d\left(\frac{\alpha u^2}{g}\right) + \frac{\alpha u^2}{g} \frac{d\omega}{\omega} + \lambda \frac{L}{d} d\left(\frac{\alpha u^2}{2g}\right) + dh = 0$$

или

$$d\left(\frac{\alpha u^2}{g}\right) + \frac{1}{1 + \frac{\lambda L}{2d}} \left(\frac{\alpha u^2}{g} \frac{d\omega}{\omega} + dh \right) = 0 \quad (17)$$

Решение этого уравнения с использованием в частности равенства нулю уклона дна, т.е. $dz = dh$, и учитывая

$$\left. \begin{aligned} h &= r \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \\ \omega &= \frac{r^2}{2} (\theta - \sin \theta) \end{aligned} \right\}, \quad (18)$$

можно представить в виде

$$\frac{\alpha u^2}{g} = \frac{ar}{2(\theta - \sin \theta)^a} \int_{\theta}^{\theta_0} (\theta - \sin \theta)^a \sin d\theta, \quad (19)$$

где h — глубина наполнения трубы, $a = \frac{1}{1 + \frac{\lambda L}{2d}}$.

Тогда для определения $\theta_{кр}$ имеем следующую формулу:

$$\frac{4\alpha Q_k^2}{agr} (\theta_{кр} - \sin \theta_{кр})^{a-2} - \frac{r}{2} \int_{\theta_{кр}}^{\theta_0} (\theta - \sin \theta)^a \sin \frac{\theta}{2} d\theta = 0. \quad (20)$$

Полученное уравнение решается последовательным приближением.

Находим функцию уклона трубы β'' и диаметра d . После некоторых преобразований из формулы (18) получим $\beta'' = 2\alpha Q_k^2 / gr^5$, откуда имеем для диаметра трубы выражение $d = 2(2\alpha Q_k^2 / g\beta'')^{\frac{1}{5}}$.

Полученные формулы (18) и (19) для скорости движения воды хорошо совпадают с результатами экспериментов. Результаты расчётов приведены в таблице.

Результаты расчетов скорости движения воды

d	L	$\theta_{кр}$	β''	d	L	$\theta_{кр}$	β''
0.95	250	2.525	1.937	1.50	750	2.150	0.644
	500	2.060	0.504		1000	1.934	0.304
	750	1.850	0.229	2.00	250	2.900	4.481
	1000	1.633	0.088		500	2.542	2.026
1.00	250	2.542	2.026		1000	2.308	1.054
	500	2.150	0.644	2.50	250	2.150	0.644
	750	1.845	0.203		500	2.95	5.263
	1000	1.640	0.091		750	2.683	2.869
1.165	250	2.606	2.461		1000	2.434	1.513
	500	2.255	0.898	3.00	250	2.266	0.930
	750	1.934	0.304		500	3.017	6.063
	1000	1.845	0.215		750	2.700	3.009
1.50	250	2.700	3.009				

	500	2.384	1.315		1000	2.542	2.026
--	-----	-------	-------	--	------	-------	-------

Таким образом, произведенные расчеты по полученной формуле для скорости движения воды в горизонтальных дренах (19) хорошо совпадают с результатами экспериментальных исследований [2].

Результаты исследований подтвердили, что пропускная способность трубопровода с наименьшим напором достигается при значении отношения $h/d=0.9$ глубины воды к диаметра трубы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Векслер А. В. Основные уравнения одномерного руслового взвесенесущего потока // Заиление водохранилищ и борьба с ним. М.: Колос, 1970. – 156 с.
- [2] Войнич-Сяноженцкий Т. Г., Ломтатидзе В. Г., Таварткиладзе Н. Е. О турбулентном течении двухфазного водовоздушного потока с переменным расходом вдоль пути // Известия ТНISTЭИ. 1960. № 12 (46). С. 134 – 138.
- [3] Киселев П. Г. Движение жидкости с переменной массой // Вопросы гидротехники. Сб. трудов МИСИ. 1955. № 5. С. 43 – 55.
- [4] Кнороз Б. С. Безнапорный гидротранспорт и его расчет // Известия ВНИИГ. 1951. С. 56 – 61.
- [5] Хамидов А. А., Худайкулов С. И. Теория струй многофазной вязкой жидкости. Ташкент: Фан, 2003. – 140 с.
- [6] Латипов К. Ш., Пулатов А. Определение некоторых параметров закрытого горизонтального дренажа // Известия АН Уз. Сер. тех. наук. 1963. № 1. С. 35 – 37.

НИИ ирригации и водных проблем при ТИИМ

Дата поступления
27.04.2015

С.И. Худайкулов, А.М. Фатхуллаев, Ф.Х. Нишонов. Горизонталь дренажда сарфи ўзгарувчи суюқлик ҳаракатининг оқим параметрларини ҳисоблаш

Мақолада ёпиқ горизонталь дренаж узунлиги бўйича сарфи ўзгарувчи суюқлик ҳаракати қаралиб, горизонталь дренаж қиялиги ва қаршилигини ҳисобга олган ҳолда дренажнинг параметрларини ҳисоблаш усуллари берилади.

S.I. Xudaykulov, A.M. Fatxullaev, F.H. Nishonjv. Moving the flow is considered with variable consumption along way in locked horizontal drainage

The methods of the calculation parameter drainage is Offered with provision for gradient and hydraulic resistances of the pipe line.

МУНДАРИЖА

Н. А. Коршунова, Ш. Ш. Кодирова, М. И. Рузматов. Чегараланган уч жисм масаласининг айланма ҳаракати ҳолида актив қисмлар учун янги хусусий ечимлар.....	3
М. Н. Сидиков. Гирогоризонт компаснинг хусусий ҳаракатини стабиллаш.....	8
Г. Абдиева, Н. Б. Юсупова, С. А. Хамраева, А. А. Акбаров, Р. Бегмонов. Ички босим таъсирида тўқиманинг оптимал формасини аниқлаш.....	12
Д. А. Бекмирзаев. Ер ости қувурлари сейсmodинамикасининг амалий масалалари.....	15
А. Т. Буриев. Текис қўндаланг эластик тўлқин таъсирида “бино-фундамент” тизимининг ностационар тебраниши.....	19
Р. Х. Расулов, А. У. Ташходжаев. Грунтнинг сейсмик таъсирда чўкиши билан унинг мустаҳкамлиги орасидаги боғлиқлиги.....	23
Ф. Х. Нишонов, С. И. Худайкулов. Суюқликнинг қувурдаги зарба импульсини моделлаштириш.....	26
М. Т. Сайидов, Х. А. Исмагилов. Туямўйин сув омбори ва унинг дарганата қисмида ўзан деформацияси ҳисоби.....	30
Э. Ч. Холияров, И. Э. Шадмонов, М. Т. Шодмонкулов. Бир жинсли ғовак муҳитда суюқлик эластик-пластик сизишининг тескари масалалари.....	34
Б. Х. Хужаёров, У. Ж. Сайдуллаев, Э. Ч. Холияров. Эластик-пластик кейк-қатлам ҳосил бўлганда суспензияларнинг филтрлаш тенгламалари.....	38
А. А. Ахметов. Асимметрик панжа қанотлари тигининг очириш бурчагини асослаш.....	42
Н. З. Камалов, Ш. З. Камалов, Д. Р. Каримов, Ф. Б. Болтаев. Пахта чигитини линтерлаш технологик жараёнини векторли оптималлаштириш.....	45
Р. Ш. Сулаймонов, Б. М. Мардонов, А. Е. Лугачев. Момиқ тозалагич модулида ифлос аралашмаларни колосниклар билан ўзаро таъсири жараёнлари бўйича изланишлар.....	48
Э. Ж. Махмудов, Е. Шерматов, И. А. Усманов. Трансчегаравий дарё Амударёдан Ўзбекистонни сув билан барқарор таъминлашнинг илмий-техник тадбирларини яратиш.....	51
Ш. К. Усмонкулов, М. М. Мукимов, А. Д. Джураев. Трикотаж машинаси ҳалқаларини тортиш зонасида йўналтиргични йўналиш параметрларини асослаш.....	55
У. А. Шермухамедов. Сикилмайдиган суюқликнинг икки ўлчовли ҳаракатини мувозанатли ва тебранма ҳолати.....	58

Илмий ахборотлар

О. Я. Гловацкий, Р. Р. Эргашев, Ш. Р. Рустамов. Медернизациялашган марказдан қочирма насоснинг конструктив хусусиятлари.....	62
Ж. Ш. Иноятходжаев, Ф. Ш. Умеров. Автомобил саноатидаги мехатрон инновациялар.....	64
Х. А. Исмагилов, М. Т. Сайидов. Хоразм вилояти Тупрокка худудларида Амударёдаги химоя тадбирлари.....	67
Н. З. Камалов, Ш. З. Камалов, Д. Р. Каримов. Пахта чигитини линтерлаш технологик жараёнини автоматик оптималлаштириш тизими синтези.....	69
А. Каримжанов, М. А. Кадырова, Ж. В. Муллажонов, О. Х. Атабаев, Ю. А. Маматохунова. Ҳаракат турғунлигини лимит система учун тузилган Ляпунов функцияси ёрдамида тадқиқ қилиш.....	72
Р. Д. Матчанов. Замонавий қишлоқ хўжалиги техникаларини ишлаб чиқишнинг баъзи масалалари.....	77
Р. Х. Расулов. Лёсс грунтларнинг сейсмоўтачқувчанлик модулига грунтнинг намлиги ва ташқи юкнинг таъсири.....	82
К. Д. Салямова. Республиканинг сейсмик худудларда гидротехник иншоотларнинг хавфсиз ва ишончли эксплуатация қилишнинг асосий жиҳатлари.....	84
В. Турдалиев, А. Джураев, А. Тўхтақўзиев. Тупрокка экиш олдида ишлов берувчи ва майда уруғли экинларни экувчи комбинациялашган агрегат синов натижаларининг таҳлили.....	85
Ш. К. Усмонкулов, М. М. Мукимов, А. Д. Джураев. Икки фортунали трикотаж машиналари тортиш зонаси параметрларни цилиндр ҳалқаси таранлигига таъсирини таҳлили.....	88
С. И. Худайкулов, А. М. Фатхуллаев, Ф. Х. Нишонов. Горизонталь дренажда сарфи ўзгарувчи суюқлик ҳаракатининг оқим параметрларини ҳисоблаш.....	90

СОДЕРЖАНИЕ

Н. А. Коршунова, Ш. Ш. Кодирова, М. И. Рузматов. Новые частные решения для активных участков в случае круговой ограниченной задачи трех тел.....	3
М. Н. Сидиков. Стабилизация частного движения гиригоризонткомаса.....	8
Г. Абдиева, Н. Б. Юсупова, С. А. Хамраева, А. А. Акбаров, Р. Бегмонов. Определение оптимальных форм тканых полотен при внутренних давлениях.....	12
Д. А. Бекмирзаев. Практические задачи сейсмомодинамики подземных трубопроводов.....	15
А. Т. Буриев. Нестационарные колебания системы “здание – фундамент” при действии упругой плоской сдвиговой волны.....	19
Р. Х. Расулов, А. У. Ташходжаев. Зависимость порога сеймопросадочности от прочности грунта.....	23
Ф. Х. Нишонов, С. И. Худайкулов. Моделирование ударного импульса жидкости в трубопроводе.....	26
М. Т. Сайидов, Х. А. Исмагилов. Расчет деформации русла Тюямуюнского водохранилища и зоны Дарган-Ата.....	30
Э. Ч. Холияров, И. Э. Шадмонов, М. Т. Шодмонкулов. Обратные задачи упруго-пластической фильтрации жидкости в однородной пористой среде.....	34
Б. Х. Хужаёров, У. Ж. Сайдуллаев, Э. Ч. Холияров. Уравнения фильтрования суспензий с образованием упруго-пластического кейк-слоя.....	38
А. А. Ахметов. Обоснование углов раствора лезвий крыльев асимметричной лапы.....	42
Н. З. Камалов, Ш. З. Камалов, Д. Р. Каримов, Ф. Б. Болтаев. Векторная оптимизация процесса линтерования хлопковых семян.....	45
Р. Ш. Сулаймонов, Б. М. Мардонов, А. Е. Лугачев. Исследование процесса взаимодействия линта с колосниками в модуле линтоочистителя.....	48
Э. Ж. Махмудов, Е. Шерматов, И. А. Усманов. Научно-технические меры создания устойчивого водоснабжения Узбекистана из трансграничной реки Амударьи.....	51
Ш. К. Усмонкулов, М. М. Мукимов, А. Д. Джураев. Обоснование параметров положения направлятеля в зоне оттяжки петель в трикотажной машине.....	55
У. А. Шермухамедов. Равновесное и колебательное поведение двумерного течения несжимаемой жидкости....	58

Научные сообщения

О. Я. Гловацкий, Р. Р. Эргашев, Ш. Р. Рустамов. Конструктивные особенности модернизированного центробежного насоса.....	62
Ж. Ш. Иноятходжаев, Ф. Ш. Умеров. Мехатронные инновации в автомобильной промышленности.....	64
Х. А. Исмагилов, М. Т. Сайидов. Защитные мероприятия на р. Амударье в районе Тупроккалинского массива Хорезмской области.....	67
Н. З. Камалов, Ш. З. Камалов, Д. Р. Каримов. Синтез системы автоматической оптимизации технологического процесса линтерования хлопковых семян.....	69
А. Каримжанов, М. А. Кадырова, Ж. В. Муллажонова, О. Х. Атабаев, Ю. А. Маматохунова. Исследование устойчивости движения с помощью функции Ляпунова, построенной для предельной системы.....	72
Р. Д. Матчанов. Некоторые вопросы разработки современной сельскохозяйственной техники.....	77
Р. Х. Расулов. Влияние влажности грунта и внешней пригрузки на величину модуля сеймопросадки лёсса.....	82
К. Д. Саламова. Основные аспекты по безопасной и надежной эксплуатации гидротехнических сооружений в сейсмических районах республики.....	84
В. Турдалиев, А. Джураев, А. Тухтакузиев. Анализ результатов испытаний комбинированного агрегата для предпосевной обработки почвы и сева мелкосеменных культур.....	85
Ш. К. Усмонкулов, М. М. Мукимов, А. Д. Джураев. Анализ влияния параметров зоны оттяжки на натяжение петли цилиндра на двухфонтурных трикотажных машинах.....	88
С. И. Худайкулов, А. М. Фатхуллаев, Ф. Х. Нишонов. Расчет параметров потока в дренаже с переменным расходом вдоль пути.....	90