Международная Объединенная Академия Наук

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

Рецензируемый научный журнал

Июль 2019 г.

НОМЕР 52

ЧАСТЬ 4

Самара 2019

УДК 001.1
ББК 60

Т34

Рецензируемый научный журнал «Тенденции развития науки и образования». Июль 2019 г. №52, Часть 4 Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2019. - 96с.

SPLN 001-000001-0493-LJ
DOI 10.18411/lj-07-2019-p4
IDSP ljournal-07-2019-p4

В выпуске журнала собраны материалы из различных областей научных знаний.

Журнал предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов.

Все материалы, размещенные в журнале, опубликованы в авторском варианте. Редакция не вносила коррективы в научные статьи. Ответственность за информацию, размещенную в материалах на всеобщее обозрение, несут их авторы.

Информация об опубликованных статьях будет передана в систему ELIBRARY

Электронная версия журнала доступна на сайте научно-издательского центра «Л-Журнал». Сайт центра: ljournal.ru

УДК 001.1
ББК 60

Содержание

РАЗДЕЛ XVI. МАТЕМАТИКА 5

Бадриев И.Б., Буянов В.Ю., Макаров М.В. Свойства производной Фреше оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины и постановка нелинейной спектральной задачи 5

Федотов А.И., Лисин С.К. Статистические модели оценки точности вероятных и равновероятных величин 13

РАЗДЕЛ XVII. ФИЗИКА 17

Бойкова Н.А., Бойкова О.А. Квазипотенциал двухчастичных атомов 17

Волкова М.Г., Рыбникова Е.В. Особенности курса физики для студентов нефизических специальностей 20

Молдаванов С.Ю., Долгополов В.Е., Горган Д.А. Распределение внутренней энергии в окрестности вершины трещины нормального отрыва 23

Юров В.М., Гученко С.А. Поверхностное натяжение и толщина поверхностного слоя глицина 27

РАЗДЕЛ XVIII. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 32

Лаврухина Т. В., Мурзахожин А.Д. Развитие PON технологий 32

Полякова М.Д. Информационные технологии в обучении аудированию на занятиях английского языка 34

РАЗДЕЛ IXX. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ 37

Антоновская О.Г., Зайцева М.Н. О методике моделирования динамики синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором и астатизирующирм фильтром 37

Севрюгин С.Ю. Об угловой стабилизации спускаемого космического летательного аппарата 42

Тойгамбаев С.К., Евграфов В.А. Применение статико–динамического нагружения при холодной обкатке двигателей внутреннего сгорания 45

Тойгамбаев С.К. Передвижная установка для ремонта ступиц колес тракторов и автомобилей 55

Тойгамбаев С.К., Евграфов В.А. Проектировка участка технического обслуживания машинно-тракторного парка в ООО «Карасукский» Костанайской области 60

Унаспеков Б.А., Жыргалбаева Н.М. Исследование изменение теплового и гидродинамического режима на различных расстояниях обогревающего прибора от ограждающей стенки 71

Чистогова В.А. Построение карт геодинамических процессов на основе модели движения тектонических плит 78

Чистогова В.А. Исследование зависимости точности позиционирования базовых GNSS станций от температурного фактора 81

Pentiukova E.O. Activities of airports as part of transport system of the country 84

РАЗДЕЛ XX. МЕДИЦИНА 88

Маркова И.А., Уарова М.Ю., Аржакова Л.И. Изучение возрастных особенностей антропометрических и физиометрических показателей подростков раннего и позднего пубертантного возраста, проживающих в Республике Саха(Якутия) 88

РАЗДЕЛ XXI. БИОЛОГИЯ 93

Карпова Г.А., Теплицкая Д.Г. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтез растений яровой мягкой пшеницы Экада 113 при использовании регуляторов роста 93

РАЗДЕЛ XVI. МАТЕМАТИКА

Бадриев И.Б., Буянов В.Ю., Макаров М.В.

Свойства производной Фреше оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины и постановка нелинейной спектральной задачи

Казанский (Приволжский) федеральный университет
(Россия, Казань)

doi: 10.18411/lj-07-2019-71
idsp: ljournal-07-2019-71

Аннотация

Рассмотрена геометрически нелинейная задача об изгибе трехслойных пластин с трансверсально-мягким заполнителем в одномерной постановке. Математически задача сформулирована в виде интегрального тождества, порождающего операторное уравнение в пространстве Соболева. Исследованы свойства производной Фреше оператора, дана постановка спектральной задачи с нелинейным вхождением параметра, которая может быть использована для нахождения точек бифуркации решения.

Ключевые слова: трехслойная пластина, трансверсально-мягкий заполнитель, геометрическая нелинейность, производная Фреше, спектральная задача.

Abstract

The geometrically nonlinear problem of the sandwich plates bending with a transversally soft core in a one-dimensional formulation is considered. Mathematically, the problem is formulated as an integral identity generating an operator equation in the Sobolev space. The properties of the Fréchet derivative of the operator are investigated, a statement of the spectral problem with a nonlinear parameter occurrence is given. This spectral problem can be used to find the bifurcation points of the solution.

Keywords: sandwich plate, transversally soft core, geometric nonlinearity, Fréchet derivative, spectral problem.

Введение

Слоистые (многослойные) конструкции – пластины и оболочки являются одним из наиболее эффективных типов конструкций, в которых требование наименьшей материалоемкости успешно сочетается с требованием повышенной прочности и жесткости. Прогресс в области разработки новых эффективных конструкционных материалов и совершенствование современных технологий предопределяют дальнейший перспективный путь развития исследований как в области разработки новых конструктивных решений слоистых конструкций, так и в области совершенствования теории и методов их расчета [1–9].

Данная работа является продолжением [10–20] и посвящена исследованию свойств производной Фреше [21] оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем, сформулированной в виде операторного уравнения в пространстве Соболева. Ранее в [22] была найдена производная Гато оператора. В [23] доказано, что она является непрерывным оператором, а значит, совпадает с производной Фреше. Обобщенные постановки физически нелинейных и геометрически линейных задач рассмотрены в [24–30]. Нелинейные задачи теории мягких сетчатых оболочек изучены в [31–44]. Численное решение геометрически нелинейных задач проведено в [45–53].

1. Постановка задачи.

Изучаются задачи определения напряженно-деформированного состояния бесконечно широких трехслойных пластин с трансверсально-мягким заполнителем. Длина пластины равна a, толщина заполнителя 2t, толщины несущих слоев есть $2t_{(k)}$,

$k=1,2$, – номер слоя. Пусть $V_k = \overset{o}{W}{}_2^{(k)}(0,a)$ – пространства Соболева [54] со скалярными произведениями $(u,\eta)_k = \int_0^a \frac{d^k u}{dx^k}\frac{d^k \eta}{dx^k}dx$, k=1, 2, $V = V_2 \times V_2 \times V_1 \times V_1 \times V_1$. Будем обозначать скалярное произведение в V через $(\cdot,\cdot)_V$. Обозначим $U = (w^{(1)}, w^{(2)}, u^{(1)}, u^{(2)}, q)$, где $w^{(k)}$ и $u^{(k)}$ – прогибы и осевые перемещения точек срединной поверхности k-го слоя, q – касательные напряжения в заполнителе. Считаем, что края пластины жестко закреплены, адгезионное соединение заполнителя с диафрагмами на концах пластины отсутствует, так что выполняются граничные условия $u^{(k)}(x)=0$, $w^{(k)}(x)=0$, $d\,w^{(k)}/dx=0$, $q(x)=0$ при $x=0$, $x=0$. Следуя [12, 16, 20], под решением геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем будем понимать функцию $U \in V$, удовлетворяющую при произвольной функции $Z = (z^{(1)}, z^{(2)}, \eta^{(1)}, \eta^{(2)}, y) \in V$ интегральному тождеству

$$b(U,Z) = f(Z) \quad \forall Z \in V, \tag{1}$$

где форма $b(\cdot,\cdot)$ и функционал f, заданные на $V \times V$ и V, определяются по формулам

$$b(U,Z) = \int_0^a \sum_{k=1}^{2} T_{(k)}^{11}\left(\frac{d\eta^{(k)}}{dx} + \frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx}\right)dx + \int_0^a \sum_{k=1}^{2} M_{(k)}^{11}\frac{d^2 z^{(k)}}{dx^2}dx +$$

$$+ c_3\int_0^a (w^{(2)} - w^{(1)})(z^{(2)} - z^{(1)})\,dx + \int_0^a \{\sum_{k=1}^{2} H_{(k)}\frac{d\,z^{(k)}}{dx} + (\eta^{(2)} - \eta^{(1)})\}q dx +$$

$$+ \int_0^a [\sum_{k=1}^{2} H_{(k)}\frac{d\,w^{(k)}}{dx} + (u^{(2)} - u^{(1)})]y dx + \int_0^a [c_1 q y - c_2\frac{d\,q}{dx}\frac{d\,y}{dx}]dx,$$

$$f(Z) = \int_0^a \sum_{k=1}^{2} [X_{(k)}^1 \eta^{(k)} + M_{(k)}^1 \frac{d\,z^{(k)}}{dx} + X_{(k)}^3 z^{(k)}]\,dx,$$

где $X_{(k)}^1$, $X_{(k)}^3$ – компоненты поверхностной нагрузки, приведенной к срединной поверхности k-го слоя, $T_{(k)}^{11} = B_{(k)}\left(d\,u^{(k)}/dx + 0.5(d\,w^{(k)}/dx)^2\right)$, $M_{(k)}^{11} = D_{(k)}\,d^2 u^{(k)}/dx^2$ – мембранные усилия и внутренние изгибающие моменты в k-м слое соответственно. $B_{(k)} = 2t_{(k)}E^{(k)}/(1-\nu_{12}^{(k)}\nu_{21}^{(k)})$ – жесткость k-го слоя на растяжение–сжатие, $E^{(k)}$ и $\nu_{12}^{(k)}$, $\nu_{21}^{(k)}$ – модуль упругости 1-го рода и коэффициенты Пуассона материала k-го слоя, $D_{(k)} = B_{(k)}h_{(k)}^2/3$ – изгибная жесткость k-го слоя, G_{13}, E_3 – модули поперечного сдвига и обжатия заполнителя, $c_1 = 2t/G_{13}$, $c_2 = t^3/(3E_3)$, $c_3 = E_3/(2t)$, $M_{(k)}^1$ – поверхностный момент внешних сил, приведенный к срединной поверхности k-го слоя.

В [11, 12] установлено, что форма $b(\cdot,\cdot)$ порождает оператор $A:V\to V$, а функционал f – элемент $F\in V$, определяемые формулами $b(U,Z)=(AU,Z)_V$, $f(Z)=(F,Z)_V$, так что (1) эквивалентно операторному уравнению

$$AU=F. \tag{2}$$

2. Производные Гато и Фреше оператора уравнения и свойства производных.

Обозначим $\hat{U}=(\hat{w}^{(1)},\hat{w}^{(2)},\hat{u}^{(1)},\hat{u}^{(2)},\hat{q})$. В [22] доказано, что оператор A дифференцируем по Гато, его производная Гато A' в точке U определяется соотношением

$$\begin{aligned}(A'(U)\hat{U},Z)_V &= \int_0^a\sum_{k=1}^2 B_{(k)}\left(\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx}+\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\right)\frac{d\eta^{(k)}}{dx}dx+\int_0^a\sum_{k=1}^2 B_{(k)}\left\{\left[\frac{du^{(k)}}{dx}+\right.\right.\\ &\left.\left.+\frac{1}{2}\left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\right)^2\right]\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}+\left(\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx}+\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\right)\frac{dw^{(k)}}{dx}\right\}\frac{dz^{(k)}}{dx}dx+\\ &+\int_0^a\sum_{k=1}^2 D_{(k)}\frac{d^2\hat{w}^{(k)}}{dx^2}\frac{d^2z^{(k)}}{dx^2}dx+c_3\int_0^a(\hat{w}^{(2)}-\hat{w}^{(1)})(z^{(2)}-z^{(1)})\,dx+\\ &+\int_0^a\{\sum_{k=1}^2 H_{(k)}\frac{d\,z^{(k)}}{dx}+(\eta^{(2)}-\eta^{(1)})\}\hat{q}dx+\int_0^a\{\sum_{k=1}^2 H_{(k)}\frac{d\,\hat{w}^{(k)}}{dx}+(\hat{u}^{(2)}-\hat{u}^{(1)})\}y\,dx+\\ &+\int_0^a[c_1\hat{q}y-c_2\frac{d\,\hat{q}}{dx}\frac{d\,y}{dx}]dx=\sum_{j=1}^7 I_j\end{aligned} \tag{3}$$

Поскольку производная Гато $A'(U)$ является непрерывным оператором в любой точке U [23], то она совпадает с производной Фреше (теорема 2.1 [21]).

Теорема 1. Оператор $A'(U)$ является самосопряженным в любой точке U, т.е.

$$(A'(U)\hat{U},Z)_V=(A'(U)Z,\hat{U})_V \qquad \forall\hat{U},Z\in V.$$

Доказательство. Из (3), меняя местами $\hat{U}$ и Z, имеем

$$\begin{aligned}(A'(U)Z,\hat{U})_V &= \int_0^a\sum_{k=1}^2 B_{(k)}\left(\frac{d\eta^{(k)}}{dx}+\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx}\right)\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx}dx+\int_0^a\sum_{k=1}^2 B_{(k)}\left\{\left[\frac{du^{(k)}}{dx}+\right.\right.\\ &\left.\left.+\frac{1}{2}\left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\right)^2\right]\frac{dz^{(k)}}{dx}+\left(\frac{d\eta^{(k)}}{dx}+\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx}\right)\frac{dw^{(k)}}{dx}\right\}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}dx+\\ &+\int_0^a\sum_{k=1}^2 D_{(k)}\frac{d^2z^{(k)}}{dx^2}\frac{d^2\hat{w}^{(k)}}{dx^2}dx+c_3\int_0^a(z^{(2)}-z^{(1)})\,(\hat{w}^{(2)}-\hat{w}^{(1)})\,dx+\\ &+\int_0^a\{\sum_{k=1}^2 H_{(k)}\frac{d\,\hat{w}^{(k)}}{dx}+(\hat{u}^{(2)}-\hat{u}^{(1)})\}ydx+\int_0^a\{\sum_{k=1}^2 H_{(k)}\frac{d\,z^{(k)}}{dx}+(\eta^{(2)}-\eta^{(1)})\}\,\hat{q}\,dx+\\ &+\int_0^a[c_1y\,\hat{q}-c_2\frac{d\,y}{dx}\frac{d\,\hat{q}}{dx}]dx=\sum_{j=1}^7 I_j^*\end{aligned} \tag{4}$$

Сравнивая (3) и (4), видим, что $I_j = I_j^*$, $j = 3,4,7$, $I_5 = I_6^*$, $I_6 = I_5^*$. Поэтому достаточно проверить, что $I_1 + I_2 = I_1^* + I_2^*$. Раскрывая скобки, получаем

$$I_1 + I_2 = \int_0^a \sum_{k=1}^{2} B_{(k)} \left[\frac{d\eta^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx} + \frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{d\eta^{(k)}}{dx} + \frac{du^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2}\left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\right)^2 \frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx} + \frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx}\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx} + \left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\right)^2 \frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx} \right] dx$$

и

$$I_1^* + I_2^* = \int_0^a \sum_{k=1}^{2} B_{(k)} \left[\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx}\frac{d\eta^{(k)}}{dx} + \frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx} + \frac{du^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2}\left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\right)^2 \frac{dz^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx} + \frac{d\eta^{(k)}}{dx}\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx} + \left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\right)^2 \frac{dz^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx} \right] dx .$$

Сравнивая полученные соотношения, имеем, что $I_1 + I_2 = I_1^* + I_2^*$. Теорема доказана.

3. Построение спектральной задачи с нелинейным вхождением параметра.

В дальнейшем будем предполагать, что $X_{(k)}^1 = M_{(k)}^1 = 0$, $k = 1,2$, $X_{(2)}^3 = 0$, $X_{(1)}^3 \equiv p$ (поперечный изгиб).

Для нахождения точки бифуркации решения задачи (2) получим условия существования, наряду с U, другой формы равновесия, задаваемой элементом $U + \Delta U$: $A(U + \Delta U) = F$. По определению производной Фреше имеем, что $A(U + \Delta U) - A(U) = A'(U)\Delta U + R(U, \Delta U)$, где $\lim\limits_{\Delta U \to 0} R(U + \Delta U) / \| \Delta U \|_V = 0$.

Таким образом, получаем следующую аппроксимирующую задачу: $A'(U)\Delta U = 0$. Рассмотрим, наряду с ней, вспомогательную задачу, заменив U на $\lambda U / p$: Здесь λ – некоторый параметр. Для любых $\hat{U}, Z \in V$ имеем, что

$$(A'(\lambda U / p)\hat{U}, Z)_V = \int_0^a \sum_{k=1}^{2} B_{(k)} \left(\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx} + \frac{\lambda}{p}\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx} \right) \frac{d\eta^{(k)}}{dx} dx +$$

$$+ \int_0^a \sum_{k=1}^{2} B_{(k)} \left\{ \left[\frac{\lambda}{p}\frac{du^{(k)}}{dx} + \frac{1}{2}\frac{\lambda^2}{p^2}\left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\right)^2 \right] \frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx} + \frac{\lambda}{p}\left(\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx} + \frac{\lambda}{p}\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx} \right) \times \right.$$

$$\left. \times \frac{dw^{(k)}}{dx} \right\} \frac{dz^{(k)}}{dx} dx + \int_0^a \sum_{k=1}^{2} D_{(k)} \frac{d^2\hat{w}^{(k)}}{dx^2}\frac{d^2 z^{(k)}}{dx^2} dx + c_3 \int_0^a (\hat{w}^{(2)} - \hat{w}^{(1)})(z^{(2)} - z^{(1)})\, dx +$$

$$+ \int_0^a \{ \sum_{k=1}^{2} H_{(k)} \frac{d\, z^{(k)}}{dx} + (\eta^{(2)} - \eta^{(1)}) \} \hat{q} dx + \int_0^a \{ \sum_{k=1}^{2} H_{(k)} \frac{d\, \hat{w}^{(k)}}{dx} + (\hat{u}^{(2)} - \hat{u}^{(1)}) \} y\, dx +$$

$$+ \int_0^a [c_1 \hat{q} y - c_2 \frac{d\,\hat{q}}{dx}\frac{d\,y}{dx}] dx = \frac{\lambda^2}{p^2}\frac{3}{2}\int_0^a \sum_{k=1}^{2} B_{(k)} \left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\right)^2 \frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx} dx +$$

$$+\frac{\lambda}{p}\int_0^a\sum_{k=1}^{2}B_{(k)}\left(\frac{dw^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{d\eta^{(k)}}{dx}+\frac{du^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx}+\frac{du^{(k)}}{dx}\frac{d\hat{w}^{(k)}}{dx}\frac{dz^{(k)}}{dx}\right)dx+$$

$$+\int_0^a\sum_{k=1}^{2}B_{(k)}\frac{d\hat{u}^{(k)}}{dx}\frac{d\eta^{(k)}}{dx}dx+\int_0^a\sum_{k=1}^{2}D_{(k)}\frac{d^2z^{(k)}}{dx^2}\frac{d^2\hat{w}^{(k)}}{dx^2}dx+c_3\int_0^a(z^{(2)}-z^{(1)})\,(\hat{w}^{(2)}-\hat{w}^{(1)})\,dx+$$

$$+\int_0^a\{\sum_{k=1}^{2}H_{(k)}\frac{d\,\hat{w}^{(k)}}{dx}+(\hat{u}^{(2)}-\hat{u}^{(1)})\}ydx+\int_0^a\{\sum_{k=1}^{2}H_{(k)}\frac{d\,z^{(k)}}{dx}+(\eta^{(2)}-\eta^{(1)})\}\,\hat{q}\,dx+$$

$$+\int_0^a[c_1y\,\hat{q}-c_2\frac{d\,y}{dx}\frac{d\,\hat{q}}{dx}]dx=\frac{\lambda^2}{p^2}(A_2(U)\hat{U},Z)_V+\frac{\lambda}{p}(A_1(U)\hat{U},Z)_V+(A_0(U)\hat{U},Z)_V$$

Таким образом, необходимо найти решение λ, $\hat{U}=\Delta U$ спектральной задачи

$$\frac{\lambda^2}{p^2}(A_2(U)\hat{U},Z)_V+\frac{\lambda}{p}(A_1(U)\hat{U},Z)_V+(A_0(U)\hat{U},Z)_V=0.$$

4. Заключение.

Доказано, что производная Фреше оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины является самосопряженным оператором, сформулирована спектральная задача с нелинейным вхождением параметра. Эта задача будет использована в дальнейшем для исследования форм потери устойчивости пластины и нахождения критической нагрузки, при которой наступает потеря устойчивости оболочки.. Будут разработаны приближенные методы решения указанной задачи на основе разработанных в [55–70] подходов. При этом для нахождения критических нагрузок будут использованы спектральные задачи с нелинейным вхождением параметра [71–76], а также методы исследования форм потери устойчивости многослойных конструкций. [77, 78].

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 17-08-01279, 18-41-160029, 19-08-01184).

***

1. Васильев В.В., Добряков А.А., Дудченко А. А. Основы проектирования и изготовления конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов. – М.: МАИ, 1985. – 218 с.
2. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Численное исследование физически нелинейной задачи о продольном изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2017. – № 1. – С. 39–51.
3. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Геометрически нелинейная задача о продольно-поперечном изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2016. – Т. 158, № 4. – С. 453–468.
4. Бадриев И.Б., Желтухин В.С., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Численное решение задачи о равновесии трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем в геометрически нелинейной постановке // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т.17, № 23. – С. 393–396.
5. Паймушин В.Н. Проблемы геометрической нелинейности и устойчивости в механике тонких оболочек и стержней с прямолинейной осью // Прикладная математика и механика.. – 2007. – Т. 71, № 5. – С. 855–893.
6. Paimushin V.N., Shalashilin V.I. Geometrically non-linear equations in the theory of momentless shells with applications to problems on the non-classical forms of loss of stability of a cylinder // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2006. – V. 70, № 1. – P. 91–101.
7. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Макаров М.В. Численное исследование физически нелинейных задач об изгибе трехслойных пластин // Материалы XI Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ'2016), Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – М: Изд-во МАИ, 2016. – С. 475-477.

8. Макаров М.В., Бадриев И.Б., Паймушин В.Н. Определение критических точек бифуркации для задачи о геометрически нелинейном поведении трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Воронежская зимняя математическая школа С.Г. Крейна-2016. Материалы международной конференции. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. – С. 292-294.
9. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Исследование задачи об изгибе трехслойной пластины в физически нелинейной постановке // Математическое моделирование и краевые задачи Труды десятой Всероссийской научной конференции с международным участием: в 3-х томах.. Ч. 1: Математические модели механики, прочности и надежности элементов конструкций. – Самара, 2016. – С. 19–24.
10. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Мартынова О.П. Постановка геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2016. – № 16-1. – С. 5–11.
11. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Мартынова О.П. Операторная формулировка геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2016. – № 18-3. – С. 5–13.
12. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. Обобщенная постановка геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2017. – № 23-1. – С. 4-10.
13. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. О псевдомонотонности оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2017. – № 24-2. – С. 5–14.
14. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. О свойстве типа ограниченной липшиц-непрерывности оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2017. – № 25-3. – С. 5–12.
15. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. О квазипотенциальности оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2017. – № 26-1. – С. 5–12.
16. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. Постановка геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5, № 8-2 (34-2). – С. 11–14.
17. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. Исследование свойств оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2017. – Т. 10. – С. 7–10.
18. Бадриев И.Б. Исследование математических моделей процессов изгиба трехслойных пластин с трансверсально-мягким заполнителем и методов их численной реализации // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5, № 7-2 (33-2). – С. 83–88.
19. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. О решении геометрически нелинейных задач об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5, № 7-2 (33-2). – С. 95–98.
20. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. Исследование геометрически нелинейных задач об изгибе трехслойных пластин в одномерной постановке // Материалы XII Международной конференции по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (NPNJ'2018). – М: Изд-во МАИ, 2018. – С. 322–324.
21. Вайнберг М.М. Вариационный метод и метод монотонных операторов. – М:, 1972. – 416 с.
22. Бадриев И.Б., Буянов В.Ю., Макаров М.В. Производная Гато оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2017. – № 30-2. – С. 5–12.
23. Бадриев И.Б., Буянов В.Ю., Макаров М.В. Производная Фреше оператора геометрически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 36-1. – С. 5–12.
24. Бадриев И.Б., Гарипова Г.З., Макаров М.В. Сеточные аппроксимации физически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Воронежская зимняя математическая школа С.Г. Крейна - 2016. Материалы международной конференции. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. – С. 70–72.
25. Бадриев И.Б. Решение вариационных задач нелинейных процессов механики сплошной среды // Теория управления и математическое моделирование Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Н.В.Азбелева и профессора Е.Л.Тонкова.. – Ижевск: Изд-во "Удмуртский университет", 2015. – С. 234–235.
26. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Гарипова Г.З. О решении физически нелинейных задач о равновесии трехслойных пластин // Теория управления и математическое моделирование. Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Н.В.Азбелева и профессора Е.Л.Тонкова.. - Ижевск: Изд-во "Удмуртский университет", 2015. - С. 235-237.

27. Бадриев И.Б., Гарипова Г.З., Макаров М.В. Приближенные методы решения задачи об изгибе трехслойной пластины с идеально упруго-пластическим заполнителем // Материалы XXII Международного симпозиума "Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред" им. А.Г. Горшкова. – М: ООО "ТРП", 2016. – С. 31-33.
28. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Гарипова Г.З., Макаров М.В. Исследование физически нелинейной задачи об изгибе трехслойной пластины // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник докладов. – Казань, 2015. – С. 276.
29. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Макаров М.В. О приближенных методах решения задачи об изгибе трехслойной пластины с идеально упруго-пластичным заполнителем // Проблемы химмотологии: от эксперимента к математическим моделям высокого уровня. Сборник избранных докладов VI Международной научно-технической конференции. - М. ООО Издательство «Граница», 2016. – С. 21-26.
30. Бадриев И.Б. Математические модели нелинейных процессов изгиба трехслойных пластин // Дифференциальные уравнения и смежные проблемы: материалы международной научной конференции, 8-13 октября 2017 г., Самара. – Самара: СГПУ, 2017. – С. 180–181.
31. Badriev I.B., Banderov V.V. Numerical solution of the equilibrium of axisymmetric soft shells // Математические методы в технике и технологиях-ММТТ. – 2014. – № 5 (64). – С. 16–20.
32. Badriev I.B., Banderov V.V., Gnedenkova V.L., Kalacheva N.V., Korablev A.I., Tagirov R.R. On the finite dimensional approximations of some mixed variational inequalities // Applied Mathematical Sciences. – 2015. – V. 9, № 113-116. – P. 5697–5705.
33. Бадриев И.Б. О решении вариационных неравенств второго рода // Сеточные методы для краевых задач и приложения Материалы Девятой Всероссийской конференции. – Казань: Отечество, 2012. – С. 32–35.
34. Бадриев И.Б., Бандеров В.В. Численное моделирование деформирования биокомпозитов // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. Материалы XXI международного симпозиума имени А.Г. Горшкова.. – М: ООО "ТРП", 2015. – С. 7–9.
35. Badriev I.B., Banderov V.V. Iterative methods for solving variational inequalities of the theory of soft shells // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2014. –V. 35, № 4. – P. 371–383.
36. Бадриев И.Б., Задворнов О.А. Исследование разрешимости осесимметричной задачи об определении положения равновесия мягкой оболочки вращения // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2005. – № 1. – С. 25–30.
37. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Калачева Н.В. Численное исследование вариационных и квазивариационных неравенств теории мягких сетчатых оболочек // Вестник Тамбовского университета. Серия:: Естественные и технические науки. – 2015. – Т. 20, № 5. – С. 1037–1041.
38. Бадриев И.Б., Бандеров В.В. Численное решение задач о равновесии осесимметричных мягких оболочек // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 1. – С. 29–35.
39. Бадриев И.Б., Бандеров В.В. Итерационные методы решения вариационных неравенств теории мягких оболочек // Ученые записки Казанского университета. Серия:: Физико-математические науки. – 2013. – Т. 155, № 2. – С. 19–33.
40. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Задворнов О.А. О решении задачи равновесия мягкой сетчатой оболочки при наличии нагрузки, сосредоточенной в точке // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2013. – № 3. – С. 16–34.
41. Бадриев И.Б., Желтухин В.С., Чебакова В.Ю. О решении некоторых нелинейных краевых и начально-краевых задач // Материалы XXII Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова. – Москва: ООО "ТРП", 2016. – С. 31–33.
42. Бадриев И.Б. Математическое моделирование процессов механики сплошной среды при наличии точечных источников и нагрузок // Материалы XXII Международного симпозиума "Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред" им. А.Г. Горшкова. – М: ООО "ТРП",. 2016. –С. 28–31.
43. Badriev I.B. Mathematical modeling of continuum mechanics problems with the point sources // Проблемы химмотологии: от эксперимента к математическим моделям высокого уровня Сборник избранных докладов VI Международной научно-технической конференции. – М. ООО «Издательство «Граница», 2016. С. 19–21.
44. Бадриев И.Б., Бандеров В.В. О конечно-элементных аппроксимациях вариационных неравенств теории мягких сетчатых оболочек // Тезисы докладов V международного научного семинара "Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы". – М: ООО "ТРП", 2016. – С. 28–31.
45. Badriev I.B., Banderov V.V., Makarov M.V. Mathematical simulation of the problem of the pre-critical sandwich plate bending in geometrically nonlinear one dimensional formulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. - V. 208, № 012002.
46. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Мартынова О.П. Математическое моделирование процессов изгиба трехслойных пластин в геометрически нелинейной постановке // Тезисы докладов V международного

научного семинара "Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы". – М: ООО "ТРП", 2016. – С. 32-35.
47. Макаров М.В. Численное исследование геометрически нелинейной задачи о поперечном изгибе трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Тенденции науки и образования в современном мире. – 2016. –№ 17-2. – С. 26–35.
48. Макаров М.В. О решении геометрически нелинейных и линейных задач о поперечном изгибе жестко закрепленной трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Тенденции науки и образования в современном мире. - 2016. - № 19-2. - С. 23-29.
49. Badriev I.B., Makarov M.V., Paimushin V.N. Longitudinal and transverse bending by a cylindrical shape of the sandwich plate stiffened in the end sections by rigid bodies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 958, № 012011.
50. Бадриев И.Б., Буянов В.Ю., Макаров М.В. Исследование задачи о потере устойчивости трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5, № 7-2 (33-2). – С. 92–94.
51. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Буянов В.Ю. Геометрически нелинейная задача о потере устойчивости трехслойной пластины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2017. – Т. 5, № 8-2 (34-2). – С. 7–10.
52. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Смирнова Е.В. Численное исследование процессов изгиба трехслойных пластин в геометрически нелинейной и линейной постановках // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред Материалы XXIII международного симпозиума им. А.Г. Горшкова. – М: ООО "ТРП", 2017. С. 21-24.
53. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Численное моделирование поперечного изгиба трехслойной пластины с трансверсально-мягким заполнителем с шарнирным закреплением // Математическое и компьютерное моделирование сборник материалов IV Международной научной конференции. – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2016. – 2016. – С. 52–54.
54. Adams R.A. Sobolev Spaces. – New York, San Francisco, London: Academic Press, 1975. – 286 p.
55. Badriev I.B., Zadvornov O.A. Analysis of the stationary filtration problem with a multivalued law in the presence of a point source // Differential Equations. - 2005. – Т. 41, № 7. – С. 915–922.
56. Бадриев И.Б., Задворнов О.А. Итерационные методы решения вариационных неравенств второго рода с обратно сильно монотонными операторами // Известия высших учебных заведений. Математика. – 2003. – № 1. – С. 20-28.
57. Бадриев И.Б., Задворнов О.А., Исмагилов Л.Н., Скворцов Э.В. Решение плоских задач фильтрации при многозначном законе фильтрации и наличии точечного источника // Прикладная математика и механика. – 2009. – Т. 73, № 4. – С. 604–614.
58. Бадриев И.Б., Задворнов О.А. О сходимости итерационного метода двойственного типа решения смешанных вариационных неравенств // Дифференциальные уравнения.. – 2006. – Т. 42, № 8. – С. 1115–1122.
59. Badriev I.B., Shagidullin R.R. A study of the convergence of a recursive process for solving a stationary problem of the theory of soft shells // Journal of Mathematical Sciences. – 1995. – V. 73, № 5. – P. 519–525.
60. Бадриев И.Б., Ляшко А.Д., Панкратова О.В. Исследование сходимости итерационных методов решения нелинейных задач теории фильтрации // Известия высших учебных заведений. Математика. – 1998. – № 11. – С. 8–13.
61. Бадриев И.Б., Фанюк Б.Я. Итерационные методы решения задач фильтрации в многослойных пластах при наличии точечного источника // Ученые записки Казанского университета. Серия:: Физико-математические науки. – 2010. – Т. 152, № 4. – С. 39–55.
62. Badriev I.B., Fanyuk B.Y. Iterative methods for solving seepage problems in multilayer beds in the presence of a point source // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2012. – V. 33, № 4. – P. 386–399.
63. Бадриев И.Б., Чебакова В.Ю. Математическое моделирование низкотемпературной ВЧЕ-плазмы в аргоне // Математическое моделирование и краевые задачи Труды десятой Всероссийской научной конференции с международным участием: в 3-х томах. – Саратов, 2016. – С. 17–21.
64. Чебакова В.Ю. Моделирование высокочастотного емкостного разряда при атмосферном давлении в аргоне // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2016. – Т. 158, № 3. – С. 404–423.
65. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Чебакова В.Ю., Шнейдер М.Н. Моделирование высокочастотного емкостного разряда при больших межэлектродных расстояниях. I. Постановка задачи // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2013. – Т. 155, № 2.. – С. 123–130.
66. Badriev I.B., Paimushin V.N. Refined models of contact interaction of a thin plate with positioned on both sides deformable foundations // Lobachevskii Journal of Mathematics. -– 2017. – V. 38, № 5. – P. 779–793.
67. Бадриев И.Б., Макаров М.В., Паймушин В.Н. Продольно-поперечный изгиб по цилиндрической форме трехслойной пластины, подкрепленной в торцевых сечениях абсолютно твердыми телами // Ученые записки Казанского университета. Серия:: Физико-математические науки. – 2017. – Т. 159, № 2.. – С. 174–190.

68. Badriev I.B., Ju Chebakova V., Zheltukhin V.S. Numerical solution of the initial boundary value problems of radio-frequency capacitive coupled discharge // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - V 927, № 012008.
69. Badriev I.B., Karchevskii M.M. Convergence of the iterative Uzawa method for the solution of the stationary problem of seepage theory with a limit gradient // Journal of Soviet Mathematics. – 1989. – V. 45, № 4. – P. 1302.–1309.
70. Badriev I.B., Banderov V.V., Singatullin M.T. Numerical solution of non-linear filtration issues for high viscous fluids at the presence of wells // Research Journal of Applied Sciences. – 2015. – V. 10, № 8. – P. 343–346.
71. Solov'ev S.I. Superconvergence of finite element approximations to eigenspaces // Differential Equations. – 2002. – V. 38, № 5. – P. 752–753.
72. Solov'ev S.I. The error of the Bubnov-Galerkin method with perturbations for symmetric spectral problems with a non-linearly occurring parameter // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 1992. – V. 32., № 5. – P. 579–593.
73. Solov'ev S.I. Finite element approximation with numerical integration for differential eigenvalue problems // Applied Numerical Mathematics. – 2015. – V. 93. – P. 206–214.
74. Solov'ev S.I. Superconvergence of finite element approximations of eigenfunctions // Differential Equations. – 1994. – V. 30, № 7. – P. 1138–1146.
75. Solov'ev S.I. Eigenvibrations of a beam with elastically attached load // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2016. – V. 37, № 5. – P. 597–609.
76. Solov'ev S.I. Eigenvibrations of a bar with elastically attached load // Differential Equations. – 2017. –V. 53, № 3. – P. 409–423.
77. Паймушин В.Н., Холмогоров С.А., Бадриев И.Б., Макаров М.В. Геометрически и физически нелинейная задача о трехточечном изгибе композитных тест-образцов // Материалы XXII Международного симпозиума "Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред" им. А.Г.Горшкова.. Т. 2. – М: ООО «ТР-принт», 2016. - С. 197–202.
78. Badriev I.B., Makarov M.V., Paimuhin V.N. Longitudinal and transverse bending by a cylindrical shape of the sandwich plate stiffened in the end sections by rigid bodies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. – V. 158, № 012011.

Федотов А.И.[1], Лисин С.К.[2]

Статистические модели оценки точности вероятных и равновероятных величин

[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[2]Национальный минерально-сырьевой университет «Горный
(Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/lj-07-2019-72
idsp: ljournal-07-2019-72

Аннотация

Статья посвящена рассмотрению статистических моделей оценки точности вероятных и равновероятных результатов измерений при сравнительном анализе массивов дискретных опытов. Исследованы модели оценки исходов дискретной величины на основе распределения Бернулли. Определены зависимости равновероятных появлений равномерно распределенной величины. Предложен способ вычисления отклонений опыта дискретной величины. Приведены зависимости оценок среднего $\bar{p}$ и аналога среднего квадратичного отклонения u_p вероятностей исходов.

Ключевые слова: ситуационная математическая модель, дискретная величина, неопределенность типа В, вероятность исхода.

Abstract

The article is devoted to the consideration of statistical models for estimating the accuracy of probable and equally probable measurement results in the comparative analysis of arrays of discrete experiments. The models of estimation of discrete quantity outcomes on the basis of Bernoulli distribution are investigated. The dependence of occurrences of equally likely uniformly distributed values. A method for calculating the deviations of the discrete quantity experiment is proposed. The dependences of the estimates of the mean $\bar{p}$ and the analogue of the mean square deviation of the probabilities u_p of outcomes are given.

Keywords: situational mathematical model, a discrete value, the uncertainty of type B, the probability of an outcome.

Измерение есть процедура сравнения неизвестной величины с известной величиной и выражение первой через вторую в частях или в кратном отношении. Процедура измерения сопровождается появлением погрешностей (отклонений), искажающих действительные значения свойств измеряемых объектов. В связи с тем, что повторяемые и однократные результаты измерений содержат случайную и систематическую погрешности появилась необходимость рассмотрения их статистических эквивалентов – вероятного или равновероятного. При этом проблема повышения ресурса точности обусловила необходимость обработки результатов измерений с использованием теории вероятностей и математической статистики. Введение в практику вероятностных оценок отклонений результатов и исходов измерений связано с применением дифференциальных, интегральных и других законов распределения случайных величин. При этом использование вероятностного подхода при оценке отклонений результатов измерений предполагает знание соответствующей аналитической модели закона распределения. Известно, что аналитическая форма представления неопределенности типа А осуществляется на основе анализа случайных величин, в данном случае на основе анализа результатов многократных измерений. Апостериорная информация в виде массива экспериментальных данных n, полученного при повторении процедуры измерения, представляется в виде гистограммы в координатах Q, p(Q). Результаты многократных измерений используют не только для определения закона распределения вероятности, но и для определения неопределенности. В качестве меры неопределенности типа А принято использовать оценку среднего квадратичного отклонения – стандартное отклонение sQ , определяемое из выражения:

$$s_Q = \sqrt{\hat{\bar{Q}}_n^{\,2} - \hat{\bar{Q}}_n^{\,2}}\,.$$

Здесь $\hat{\bar{Q}}_n$ - среднее арифметическое значение результата измерения;

$\hat{\bar{Q}}_n^{\,2}$ - среднее арифметическое значение квадратов результатов измерения.

Стандартное отклонение является мерой неопределенности типа А, обусловленной рассеянием результата измерения, а способ её нахождения заключается в использовании математической статистики для количественной опенки этой неопределенности.

Равновероятный статистический эквивалент распространяется на класс задач, в которых при дефиците априорной информации результат измерения величины представляется некоторым интервалом значений. Если значения измеряемой величины в интервале от Q1 до Q2 равновероятны и среди них нет доминантного значения, то такую ситуацию принято представлять моделью равномерного закона распределения вероятности этой величины. Данная математическая модель является аксиоматической идеализацией описания (представления) измеряемой случайной величины в интервале равновозможных значений. Такая идеализация позволяет получить количественную оценку неопределенности типа В равномерно распределенной случайной величины в интервале $p(x) = \dfrac{1}{Q_2 - Q_1}$. Мерой неопределенности принятой ситуационной модели является аналог дисперсии равномерного закона распределения вероятности случайной величины, обозначаемый через u_Q^2 определяется интегралом.

$$u_Q^{\,2} = \frac{1}{Q_2 - Q_1}\int_{Q_1}^{Q_2} (x - \bar{Q})^2\, dx.$$

Примем обозначения $v = x - \frac{Q_1 + Q_2}{2}$, $dx = dv.$

Таким образом, аналог среднего квадратичного отклонения равномерного закона распределения вероятности u_Q (стандартная неопределенность типа В) определяется из выражения

$$u_Q = \frac{Q_2 - Q_1}{2\sqrt{3}}.$$

Аналогичным образом, определяется аналог среднего квадратичного отклонения центрированного равномерного закона распределения вероятности случайной равновероятной величины, например, в интервале $-Q \le 0 \le Q$. При этом аналог дисперсии случайной величины в интервале

$$u_Q^2 = \frac{1}{2Q}\int_{-Q}^{Q} Q^2 dQ = \frac{Q^2}{3}.$$

Аналог среднего квадратичного отклонения

$$u_Q = \frac{Q}{\sqrt{3}}.$$

Аналог среднего квадратичного отклонения случайной величины, моделируемый «законом распределения её вероятности», является мерой неопределенности типа В этой величины и позволяет использовать ситуационную модель для количественной оценки этой неопределенности.

Таким образом, мерой неопределённости служит среднее квадратичное отклонение, вместо которого на практике вычисляются либо его оценка - способом "А", либо его аналог - способом "В".

Наряду с вероятными, равновероятными результатами измерений представляются необходимыми исследования вероятных исходов и их повторяемость в массивах дискретных величин. Положения теории вероятностей дают ответ на проявление объективных закономерностей случайных событий, которые могут наступить или не наступить. Вероятностные законы служат теоретической базой математической статистики, которая реализует методы описания и обработки результатов наблюдений. В развитии теории вероятностей дискретных событий важная роль принадлежит Я. Бернулли. В соответствии с теоремой Я. Бернулли выполнение вероятностной задачи осуществляется при соблюдении независимости случайных исходов, которые при одинаковых условиях могут быть повторены n раз. Если, например, при подбрасывании монеты исход «решетка» зафиксирован m раз из n опытов, то неизвестной является вероятность его появления P(x = m).

Рассмотрим схему построения модели исследования дискретной случайной величины. Распределение Бернулли в теории вероятностей и в математической статистике представляет собой дискретное распределение вероятностей случайного эксперимента при известных значениях вероятностей успеха или неудачи (событий «годный» или «брак» и др.). Случайная величина x относится к распределению Бернулли, если она принимает всего два значения 1 (успех) и 0 (неудача) с вероятностями p и q = 1 - p.

Теорема Бернулли. Если вероятность p появления события, например «успех», в каждом опыте постоянна, то вероятность P_n^m того, что это событие наступит m раз в n независимых испытаниях, равна

$$P_n^m = C_n^m p^m q^{n-m}.$$

Рассмотрим числовую и вероятностную составляющие формулы Бернулли. Можно точно подсчитать число (полезных) комбинаций исходов испытаний, для которых (полезное) событие {\displaystyle A} наступает {\displaystyle k}m раз в {\displaystyle

n}n независимых и несовместимых испытаниях через количество сочетаний C_n^m из n по m. Поскольку по условию теоремы все испытания независимы и их исходы несовместимы (событие или {\displaystyle A}есть, или нет), то вероятность появления (полезной) комбинации равна $p^m q^{n-m}$ {\displaystyle p^{k}q^{n-k}}.

Пример. Вероятность успешного выполнения персонального задания титульного проекта p = 0,8 группой сотрудников из n = 50 человек. Необходимо определить вероятность того, что в группе m сотрудников справятся со своими заданиями. Задачу рассчитать для исходов m = 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50. По условию задачи нас интересует количество сотрудников, которые успешно выполнят персональное задание и это событие повторится m раз. Событию «выполнил» с p = 0,8 противоположно событие «не выполнил» с q = 0,2. Необходимо определить вероятность того, что группы сотрудников (m = 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50) справятся с заданиями. Результаты выполнения задания, рассчитанные по формуле Бернулли, сведены в таблице.

Таблица

m	20	25	30	35	40	45	50
p	5.83e-10	1.60e-6	6.12e-4	0.03	0.14	0.03	1.43e-5
$\bar{p}$	0,07						
u_p	0,04						

Графическую интерпретацию закона распределения дискретной случайной величины целесообразно представить в виде гистограммы распределения в координатах числа исходов mi и вероятностей pi. При этом определение вероятностей исходов дискретной случайной величины pi осуществляется по схеме Бернулли. Особенность применения теоремы Бернулли заключается в том, что испытание осуществляется при неизменных условиях проведения n опытов независимого события, которое возникает с известной вероятностью p в рамках данной задачи и не наступает с вероятностью q. Известно, что дискретное равномерное распределение характеризуется массивами равновероятных опытов. Обусловленная совокупность пространства Бернулли рассматриваемой задачи характеризует количественные соотношения вероятности исходов при неизменных условиях опыта. Естественной является необходимость количественной оценки равномерно распределенной случайной величины. Исходя из ситуационной модели неопределенности типа B, с этой целью можно использовать её оценки математического ожидания $\bar{p}$ и аналога среднего квадратичного отклонения u_p. Практическая необходимость использования указанных оценок становится полезной при сравнительном анализе масштабных конструкций опытов.

***

1. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения (т.2).- М.: Изд-во «Мир», 1967. – 752 с.
2. Федотов, А.И. Теория измерений /А.И. Федотов, С.К. Лисин, Г.С. Морокина. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2013. – 325 с.
3. Шишкин, И.Ф. Теоретическая метрология. Ч.1. Общая теория измерений: учеб-метод. комплекс: учебное пособие /И.Ф. Шишкин (3-е изд., перераб. и доп.). – СПб.: Изд–во СЗТУ, 2008. – 189 с.

РАЗДЕЛ XVII. ФИЗИКА

Бойкова Н.А.,[1], Бойкова О.А.[2]

Квазипотенциал двухчастичных атомов

[1] Саратовский государственный университет
[2] Медицинский институт «РЕАВИЗ» г. Саратов
(Россия, Саратов)

doi: 10.18411/lj-07-2019-73
idsp: ljournal-07-2019-73

Аннотация

Анализируется квазипотенциал, используемый для описания спектров двухчастичных атомов в квантовополевом подходе. Прослеживается взаимосвязь выражений для амплитуды рассеяния, соответствующих квантовоэлектродинамическим поправкам различных порядков.

Ключевые слова: связанное состояние, энергетический сдвиг, сверхтонкий сдвиг, амплитуды рассеяния, квазипотенциальный подход, квазипотенциал, тонкий сдвиг, логарифмический вклад.

Abstract

The quasipotential used to describe the spectra of two-particle atoms in the quantum-field approach is analyzed. The interrelation of expressions for the scattering amplitude corresponding to quantum-electrodynamic corrections of various orders is traced.

Keywords: bound state, energy shift, hyperfine shift, scattering amplitudes, quasipotential approach, quasipotential, fine shift, logarithmic contribution.

Задачи прецизионного и теоретического исследования сдвигов энергетических уровней водородоподобных и экзотических атомов приобрели не только научное, но и метрологическое значение. Чтобы иметь возможность выполнять измерения различных величин с высокой степенью точности надо установить связь между разностью энергий и измеряемой величиной.

Такой переход от микроскопических к механическим единицам осуществляется с помощью фундаментальных постоянных, связывающих различные физические величины. При этом чтобы избежать потерь точности значения фундаментальных постоянных должны быть также высокоточными.

Согласование значений фундаментальных констант предполагает совместную обработку и корреляцию разнородных данных, полученных на основе измерений и теоретических расчетов, выполненных с помощью разных методов [1]. Прогресс, достигнутый в последних экспериментах лазерной спектроскопии, ставит перед теорией задачу повышения точности расчетов энергетических сдвигов в атомах.

Система двух связанных частиц наиболее просто описывается в системе центра масс. Уравнение Бете–Солпитера в системе центра масс принимает вид

$$G(p_0,q_0,\vec{p},\vec{q},E) = G_0(p_0,q_0,\vec{p},\vec{q},E) + G_0(p_0,k_0,\vec{k},\vec{s},E)T(k_0,s_0,\vec{k},\vec{s},E)G_0(s_0,q_0,\vec{s},\vec{q},E), \quad (1)$$

где

$$G_0(p_0,q_0,\vec{p},\vec{q},E) = i(2\pi)^4\delta^4(p-q)S_1(E_1+p_0,\vec{p})S_2(E_2-p_0,-\vec{p}). \quad (2)$$

Фермионный пропагатор $S(\vec{p})$ можно выразить через проекционные операторы и получить для двухвременной функции невзаимодействующей системы двух частиц следующее выражение:

$$\widehat{G}_0(\vec{p},\vec{q},E) = (2\pi)^3\delta^3(\vec{p}-\vec{q})\{\frac{\Lambda_1^+(\vec{p})\Lambda_2^+(-\vec{p})}{(E-\varepsilon_{1p}-\varepsilon_{2p})} + \frac{\Lambda_1^-(\vec{p})\Lambda_2^-(-\vec{p})}{(E+\varepsilon_{1p}+\varepsilon_{2p})}\}\gamma_{10}\gamma_{20}. \quad (3)$$

Оператор $\widehat{G}_0(\vec{p},\vec{q};E)$ не имеет обратного, поэтому применяется операцию проектирования на положительно–частотные состояния.

$$\widehat{G}_0^+(\vec{p},\vec{q},E)=\overset{*}{u}_1(\vec{p})\overset{*}{u}_2(-\vec{p})\widehat{G}_0(\vec{p},\vec{q};E)\gamma_{10}\,\gamma_{20}\,u_1(\vec{q})u_2(-\vec{q}) \quad (4)$$

$$\widehat{G}_0^+(\vec{p},\vec{q},E)=\frac{(2\pi)^3\delta^3(\vec{p}-\vec{q})}{(E-\varepsilon_{1p}-\varepsilon_{2p})}=F(\vec{p},\vec{q},E) \quad (5)$$

Основное уравнение квазипотенциального подхода представляется [2]:

$$(F^{-1}(\vec{p},\vec{q};E)\varphi(\vec{p})=\frac{1}{(2\pi)^3}\int V(\vec{p},\vec{q},E)\varphi(\vec{q})d^3q \quad (6)$$

где E – собственное значение полной энергии, φ – описывающая систему волновая функция. Квазипотенциал для системы двух фермионов определяется выражением

$$V=F^{-1}-(\widehat{G}^+)^{-1}=\frac{\tau_0}{(1+F\tau_0)}, \qquad \tau_0=F^{-1}T_0^+F^{-1} \quad (7)$$

Определение квазипотенциала упрощается в результате выполнения интегрирования по нулевым компонентам импульсов. С помощью интегрального представления δ–функций Дирака оператор $\overline{G_0TG_0}$ из выражения для τ_0 можно представить в виде

$$\overline{G_0TG_0}=-\frac{1}{(2\pi)^4}\int_{-\infty}^{\infty}dt\int_{-\infty}^{\infty}d\tau_0\int_{-\infty}^{\infty}S_1(p_1)S_2(p_2)\,e^{ip_0t}dp_0\int_{-\infty}^{\infty}e^{-k_0t}dk_0\otimes$$

$$\otimes\int_{-\infty}^{\infty}e^{k_0'\tau}T(k_0,k_0',\vec{p},\vec{q},E)dk_0'\int_{-\infty}^{\infty}S_1(q_1)S_2(q_2)\,e^{iq_0\tau}dq_0 \quad (8)$$

Учитывая выражения фермионных пропагаторов через проекционные операторы:

$$S_1(E+p_0,\vec{p})=\left(\frac{\Lambda_1^+(\vec{p})}{(E+p_0-\varepsilon_{1p}+i\varepsilon)}+\frac{\Lambda_1^-(\vec{p})}{(E+p_0-\varepsilon_{1p}-i\varepsilon)}\right)\gamma_{10}, \quad (9)$$

$$S_2(E-p_0,-\vec{p})=\left(\frac{\Lambda_2^+(-\vec{p})}{(E-p_0-\varepsilon_{2p}+i\varepsilon)}+\frac{\Lambda_2^-(-\vec{p})}{(E+p_0-\varepsilon_{2p}-i\varepsilon)}\right)\gamma_{20},$$

с помощью теории вычетов для оператора τ_0 можно получить

$$\tau_0=T_+(\vec{p},\vec{q},E)+\sum_{i,k=1}^{2}(\varepsilon_{ip}-E_i)\Delta T_{ik+}'''(\vec{p},\vec{q},E)(\varepsilon_{kq}-E_k)+$$

$$+\sum_{i=1}^{2}(\varepsilon_{ip}-E_i)\Delta T_{i+}'(\vec{p},\vec{q},E)+\sum_{i=1}^{2}(\varepsilon_{iq}-E)\Delta T_{i+}''(\vec{p},\vec{q},E_i), \quad (10)$$

где $T_+(\vec{p},\vec{q},E)=\overset{*}{u}_1(\vec{p})\overset{*}{u}_2(-\vec{p})\gamma_{10}\gamma_{20}T(p_0=0,q_0=0,\vec{p},\vec{q},E)u_1(\vec{q})u_2(-\vec{q})$.

Анализ показывает [3–5], что при исследовании уровней энергии двухчастичных атомов с точностью α^5 достаточно ограничиться первым членом суммы в выражении (12), то есть положить

$$\tau_0\approx T_+(\vec{p},\vec{q},E). \quad (11)$$

В слабо связанных системах частицы находятся вблизи массовой поверхности. Поэтому при рассмотрении двухфотонных взаимодействий с точностью α^5 можно использовать приближение рассеяния и выполнить переход

$$T_+(\vec{p},\vec{q},E)\to T_+(0,0,E). \quad (12)$$

В области больших виртуальных импульсов элементы амплитуды рассеяния могут быть приближенно отнесены к массовой поверхности, то есть вычислены при значениях $|\vec{p}| \approx |\vec{q}| \cong 0$, $E \cong m_1 + m_2$. Возникающие при этом инфракрасные особенности устраняются введением некоторого минимального виртуального импульса $k_{\min} \cong \varepsilon$. Конкретная величина ε несущественна, так как в сумме диаграмм инфракрасные расходимости компенсируются. При этом выполняется замена

$$T_+(0,0,E) \to T_0^+(0,0,m_1 + m_2). \tag{13}$$

В работах [6, 7] показано, что полное определение логарифмических поправок порядка $\alpha^6 \ln \alpha^{-1}$ в сверхтонкий сдвиг требует использования выражения для квазипотенциала через амплитуду τ_0.

Таким образом, для решения конкретных задач на связанные состояния применяются различные способы построения квазипотенциала. Их взаимосвязь выражается в последовательном использовании приближения для амплитуды и схематично может быть представлена

$$\tau_0 \to T_+ \to T_+(0,0,E) \to T_+^0(0,0,m_1 + m_2). \tag{14}$$

Исследование величины тонкого сдвига с точностью до пятого порядка по константе α было проведено на основе двух вариантов определения квазипотенциала [3, 4]. В первом случае возникает необходимость введения нефизического параметра λ, низко– и высокочастотные области исследовались отдельно друг от друга. Во втором способе используются естественные параметры – полная энергия и относительные импульсы – характеризующие систему двух частиц. Теория связанных состояний частиц в этом случае зависит только от целочисленных степеней α.

В то же время полная энергия $E \neq m_1 + m_2$ и импульсы взаимодействующих частиц отличны от нуля. Тогда при описании связанных состояний, наряду с целочисленными по α поправками получаем логарифмические поправки [8]. Однако, часть логарифмических поправок может компенсироваться при суммировании, а часть входить в конечные результаты.

Разработанный ранее способ устранения инфракрасных особенностей введением параметра обрезания позволяет решать поставленные задачи только с точностью α^5. Следовательно, для повышения точности теоретических результатов необходим учет точной зависимости амплитуды рассеяния от энергии и импульсов взаимодействующих частиц.

***

1. С.Г. Каршенбойм // Успехи физических наук. 2008. Т.178. №10. С.1057–1064.
2. Н.А. Бойкова, С.В. Чурочкина, Ю.Н. Тюхтяев, Р.Н. Фаустов // Ядерная физика. 2001. Т.64. №8. С.1437–1441.
3. Н.А. Левченко, Ю.Н. Тюхтяев, Р.Н. Фаустов // Ядерная физика. 1980. Т.32. №6. С.1656–1662.
4. Н.А Бойкова, В.В. Двоеглазов, Ю.Н Тюхтяев, Р.Н Фаустов // Теоретическая и математическая физика.1991. Т.89. №2. С.228–237.
5. Н.А. Левченко, Н.Е. Нюнько, Ю.Н. Тюхтяев, Р.Н Фаустов // // Сообщения ОИЯИ. 1979. Р2–12355.
6. О.А. Бойкова, Ю.Н. Тюхтяев // Известия Саратовского университета. 2011. Т.11. вып.1. С.52–58.
7. О.А. Бойкова, Н.А. Бойкова, С.В. Клещевская, Ю.Н. Тюхтяев, Р.Н. Фаустов // Известия Саратовского университета. 2008. Т.8. №2. С.42–46.
8. Н.А. Бойкова, Ю.Н. Тюхтяев, Р.Н. Фаустов // Ядерная физика. 2011. Т.74. №1. С.68–71.

Волкова М.Г., Рыбникова Е.В.

Особенности курса физики для студентов нефизических специальностей

ФГКВОУ ВО «Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны» Минобороны России (Россия, Ярославль)

doi: 10.18411/lj-07-2019-74
idsp: ljournal-07-2019-74

Аннотация

В статье проанализирована целесообразность включения в курс физики материала биохимического содержания. Рассмотрены принципы преподавания физики на основе биофизического и химико-физического учебного материала.

Ключевые слова: принцип, физическая информация, метод, взаимосвязь, физический процесс, понятие.

Abstract

The article analyzes the feasibility of including in the course of physics material biochemical content. The principles of teaching physics on the basis of biophysical and chemical-physical educational material are considered.

Keywords: principle, physical information, method, relationship, physical process, concept.

Курс физики для студентов факультета биологии и экологии, читаемый химикам и биологам, содержит общие положения по формированию и функционированию физических знаний, фундаментальные законы и их основные следствия.

Курс не требует предварительной подготовки по физике и удовлетворяет требованиям по циклу общих математических и естественнонаучных дисциплин для студентов нефизических специальностей на уровне «общие представления о классической физике».

Целью данного курса является формирование общего представления о классической физике. А задачей - обеспечить уровень знаний, который позволит студентам:

- эффективно осваивать физическую информацию (профессиональный компонент обучения);
- сформировать естественнонаучный взгляд на мир (мировоззренческий компонент обучения).

Предметом изучения физики является материя (поле и вещество), а также общие формы движения материи. Несомненно, физика является фундаментальной наукой, поскольку другие естественные науки (биология, химия, экология) описывают лишь конкретные элементы материальных систем, подчиняющиеся физическим законам.

Рассмотрим некоторые дидактические принципы, которые позволяют осуществить в процессе обучения взаимосвязь физики с биологией и химией. Стоит отметить, что этот процесс не является простым использованием случайных примеров или фактов, а целенаправленная деятельность преподавателя по обеспечению связи знаний, полученных в результате изучения различных учебных дисциплин, возникновения и развития междисциплинарных связей и аналогий.

Реализация взаимосвязи учебного материала в преподавании возможна только в том случае, если преподаватель владеет и способен подготовить дидактический материал с возможностью раскрыть основные направления взаимосвязи физики с биологией, физики с химией. Данный материал должен обеспечить систему интегрированных знаний и предлагаться студентам на занятиях в определенной последовательности.

Например, пренебрежение роли взаимосвязи в преподавании может привести к ошибочным представлениям о соотношении физических и биологических форм движения материи, некоторому формализму знаний и оторванности их от восприятия окружающей жизни. Вместе с тем увлеченность ими может оказать определенные отдаление от цели учебного процесса, привести к снижению уровня знаний, помешать раскрытию роли физики как основы техники, отрицательно сказаться на навыках в решении задач и т.п.

При работе и подготовке материала, который учитывает взаимосвязь физики с биологией, выделим несколько принципов:

1. Биофизический или физико-химический учебный материал, предлагаемый студентам, должен быть связан с программой курса физики.

Как любая учебная дисциплина, физика и биология объясняют в окружающих природных явлениях и вещах лишь определенные группы свойств. И эти свойства являются, в свою очередь, предметом изучения специальных и соответствующих наук. Механические, электрические, оптические, тепловые, радиоактивные свойства присущи всем живым организмам и телам природы. Следовательно, биофизический материал может рассматриваться и применяться при изучении всех разделов курса физики. Например, в разделе «Механика» можно дать представление о динамике движения животных. Можно привести ряд занимательных фактов, значения скорости роста растений, передвижения животных. Например: скорость меч - рыбы достигает 130 км/ч - как скорость современного авто, перелетные гуси – до 80 км/ч, гепарда - 110 км/ч, а улитки всего 5 м/ч. В разделе «Основы электродинамики» следует ознакомить студентов с основами биоэлектрических явлений и т.п. Механизм всех биологических процессов можно понять только на молекулярном и внутриклеточном уровне. И здесь биологам не обойтись без знания физики и без физической аппаратуры, например электронных микроскопов, с помощью которых была открыта структура ДНК. А сложнейшие процессы нервной деятельности? По сути это электромагнитные явления.

Стоит отметить, что курсы физики и химии так же имеют общую предметную область и физико-химические сведения могут найти включение и применение при изучении двух основных разделов курса физики – «Молекулярная физика» и «Квантовая механика». Физика и химия имеют общую предметную область - атомный и молекулярный уровни материи. И для изучения строения и свойств материи используют одну и ту же теорию – квантовую механику, а так же одни и те же методы познания (рентгеноструктурный анализ, спектральный анализ, электронная микроскопия и др.). В разделе ядерной физики химикам необходимо понимание информации, получаемой ядерно-физическими методами исследования вещества. Даны элементы теории строения атома, модели строения ядра, довольно детально описано явление радиоактивности (помимо традиционных видов распада рассмотрен и кластерный распад), представлена кинетика процессов распада и накопления цепочек генетически связанных радионуклидов.

В рассмотрении такого биофизического или физико-химического материала должна учитываться логика каждого раздела курса физики. Поэтому биологический или химический материал целесообразно расчленить на отдельные фрагменты, которые будут соответствовать темам разделов физики.

2. Материал биофизического и физико-химического содержания в обязательном порядке должен отражать общепризнанные фундаментальные теории и положения. В основе его содержания должны быть не второстепенные детали и факты, а физические закономерности, которые имеют отражение в экологических или химических явлениях и процессах. При доведении материала особое внимание необходимо уделить правильной терминологии и точной формулировке. На занятиях следует избегать специализированной терминологии, применяемые термины должны быть универсальными в любой дисциплине и знакомы студентам. При формировании материала следует не накапливать отдельные сведения или факты, а стремиться к обучению студентов научному методу.

3. Факты биофизического (физико-химического) материала должны быть правомерны, как с физической, так и с биологической (химической) точек зрения. Для биологов следует оценить на вредное влияние в некоторых случаях физики и техники на живую природу. Вместе с тем указать и необходимостью бережного отношения к природе в целом и ее объектам. Для химиков определенную роль в донесении физического материала отводится раскрытию физических методов определения структуры и состава вещества: рентгеноструктурный и спектральный анализы и т.п.

4. Следствием предыдущего принципа является способность материала развивать естественнонаучное аналитическое мышление и формировать научное мировоззрение студентов о единстве окружающего их мира, фундаментальности изучаемых физических законов, знаний существенных связей между процессами и явлениями и т.д. Кроме того, биофизический и химический материал должен быть направлен на конкретизацию и обобщение естественнонаучных понятий. В физике существует ряд понятий, которые активно используются в биологии, например, вещество, поле, масса, движение, энергия и др. Следует отметить, что в курсе физики эти понятия формируются без рассмотрения их использования в курсе биологии, и, наоборот, в курсе биологии эти понятия используются без их аналогии в физике. Несомненно, это вызывает затруднения параллельного развития и углубления таких понятий, а в некоторых случаях разделяет их. Поэтому необходимо уделить внимание подбору такого материала курса физики, который демонстрировал бы универсальность определенных понятий физики и специфику их использования в биологии, а, следовательно, стремиться к конкретизации и обобщению этих понятий. Обязательно обратить внимание на то, что ряд понятий, формулируемых в физике, активно используется химией. Например, к таким понятиям относятся: вещество, атом, молекула, масса, заряд, моль, энергия и др. Однако смысловая нагрузка этих понятий в курсе физики и химии может быть различной. Например, заряд протона в курсе физике равен 1,6·10-19 Кл, а в курсе химии равен + 1. Очевидно, что в физике используется абсолютное значение величины, а в химии – кратность модулю элементарного заряда. При преподавании курса физики химикам необходимо указывать на универсальность ряда понятий и их специфику в химии. Это, несомненно, будет способствовать конкретизации и обобщению понятийного аппарата студентов.

Это позволяет нам сделать вывод о необходимости разделения отобранного материала на фрагменты, которые будут логически связаны с определенными вопросами программы курса физики, с конкретной темой раздела физики. Каждый фрагмент включает в себя, как правило, минимум биофизического или физико-химического материала, так что дальнейшее уменьшение объема информации становится невозможным без ущерба смысловому и целевому содержанию фрагмента. При этом содержание каждого последующего фрагмента специального материала логически увязывается с новой темой курса физики или базируется на информации, содержащейся в предыдущей, или расширяет ее.

Рассмотренные в данной статье взаимодействия физических и химических наук, физических и биологических наук, а также принципы формирования физико-химического и биофизического учебного материала позволяют определить объем информации, который целесообразно использовать в курсе физики для осуществления преподавания физики студентам нефизических специальностей.

***

1. Кошеров Э.Ж., Искакова Л.Т., Есентуреева Г.Д., Избасарова Г.Б. Использование качественных задач биофизического содержания в обучении физике и биологии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11-3. – С. 452-456.
2. Филонова Т. В. Использование элементов биофизики на уроках физики // Молодой ученый. — 2018. — №7. — С. 194-196.
3. Ясюкевич Л.В. Актуальные вопросы химического образования в техническом университете // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 5. – С. 75-77.

Молдаванов С.Ю., Долгополов В.Е., Горган Д.А.

Распределение внутренней энергии в окрестности вершины трещины нормального отрыва

Кубанский государственный технологический университет (Россия, Краснодар)

doi: 10.18411/lj-07-2019-75
idsp: ljournal-07-2019-75

Аннотация

В статье рассмотрено применение термофлуктуационной теории прочности твердых тел к решению задач механики разрушения. Построены графики распределения удельной внутренней энергии в окрестности вершины трещины нормального отрыва и определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: прочность твердых тел, механика разрушения.

Abstract

In the article is considered the application of termofluktuacion theory of strength of solids to solving problems of mechanics of fracture. The graphs are distribution specific internal energy in the neighborhood of a vertex normal crack detachment and identify areas for further research.

Keywords: solid strength, fracture mechanics.

Несмотря на исключительную важность критериев прочности и разрушения для оптимального проектирования конструкций различного назначения, в этой области механики деформируемого твердого тела имеется большое количество нерешенных задач. В частности недостаточно изучены вопросы длительной прочности и прочности материалов при сложном напряженном состоянии. В работах [1,2] разработана термофлуктуационная теория прочности, согласно которой в качестве критерия разрушения макрочастицы твердого тела было предложено использовать максимальную внутреннюю энергию.

В изотермическом случае малых деформаций термоупругих изотропных тел удельную внутреннюю энергию можно представить в виде [3]:

$$U = \frac{1+\nu}{2E}\sigma_{ij}\sigma_{ij} - \frac{\nu}{2E}\sigma_{kk}^2 + \alpha_t T\sigma_{kk}, \tag{1}$$

где σ_{ij} – компоненты тензора напряжений; α_t – коэффициент линейного теплового расширения; E – модуль упругости материала; ν – коэффициент Пуассона; T – абсолютная температура.

В работе [4] приведены выражения для вычисления компонентов тензора напряжений в окрестности вершины сквозной наклонной тещины при одноосном растяжении (рис. 1)

$$\begin{cases} \sigma_{11} = \dfrac{k_{\mathrm{I}}}{\sqrt{2r}}\cos\dfrac{\theta}{2}\left(1-\sin\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{3\theta}{2}\right) - \dfrac{k_{\mathrm{II}}}{\sqrt{2r}}\sin\dfrac{\theta}{2}\left(2+\cos\dfrac{\theta}{2}\cos\dfrac{3\theta}{2}\right); \\ \sigma_{22} = \dfrac{k_{\mathrm{I}}}{\sqrt{2r}}\cos\dfrac{\theta}{2}\left(1+\sin\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{3\theta}{2}\right) + \dfrac{k_{\mathrm{II}}}{\sqrt{2r}}\sin\dfrac{\theta}{2}\cos\dfrac{\theta}{2}\cos\dfrac{3\theta}{2}; \\ \sigma_{12} = \sigma_{21} = \dfrac{k_{\mathrm{I}}}{\sqrt{2r}}\cos\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{\theta}{2}\cos\dfrac{3\theta}{2} + \dfrac{k_{\mathrm{II}}}{\sqrt{2r}}\cos\dfrac{\theta}{2}\left(1-\sin\dfrac{\theta}{2}\sin\dfrac{3\theta}{2}\right), \end{cases} \tag{2}$$

где r и θ – полярные координаты точек твердого тела в окрестности вершины наклонной трещины;

k_{I} и k_{II} – коэффициенты интенсивности напряжений.

Для случая растяжения бесконечной полосы с наклонной трещиной коэффициенты интенсивности напряжений равны:

$$\begin{cases} k_{\mathrm{I}} = p\sin^2\beta\sqrt{2\pi c}; \\ k_{\mathrm{II}} = p\sin\beta\cos\beta\sqrt{2\pi c}, \end{cases} \tag{3}$$

где p – величина растягивающих напряжений; c – половина длины трещины; β – угол наклона трещины относительно направления растягивающих напряжений.

Подставляя формулы (2) в соотношение (1), получаем выражение для удельной внутренней энергии в окрестности вершины наклонной трещины в случае растяжения бесконечной полосы

$$U = \frac{1}{16\pi\mu r}\Big\{k_{\mathrm{I}}^2\left[(æ_1-1)(1+\cos\theta)+\sin^2\theta\right]+$$
$$+2k_{\mathrm{I}}k_{\mathrm{II}}\left[\,2\cos\theta-(æ_1-1)\right]\sin\theta+k_{\mathrm{II}}^2\left[\,4+(æ_1-1)(1-\cos\theta)-3\sin^2\theta\right]\Big\}+ \tag{4}$$
$$+\frac{\alpha_t TE\,æ_2}{\mu\sqrt{2\pi r}}\left[k_{\mathrm{I}}\cos\frac{\theta}{2}-k_{\mathrm{II}}\sin\frac{\theta}{2}\right]$$

здесь $\mu = \dfrac{E}{2(1+\nu)}$ – модуль сдвига.

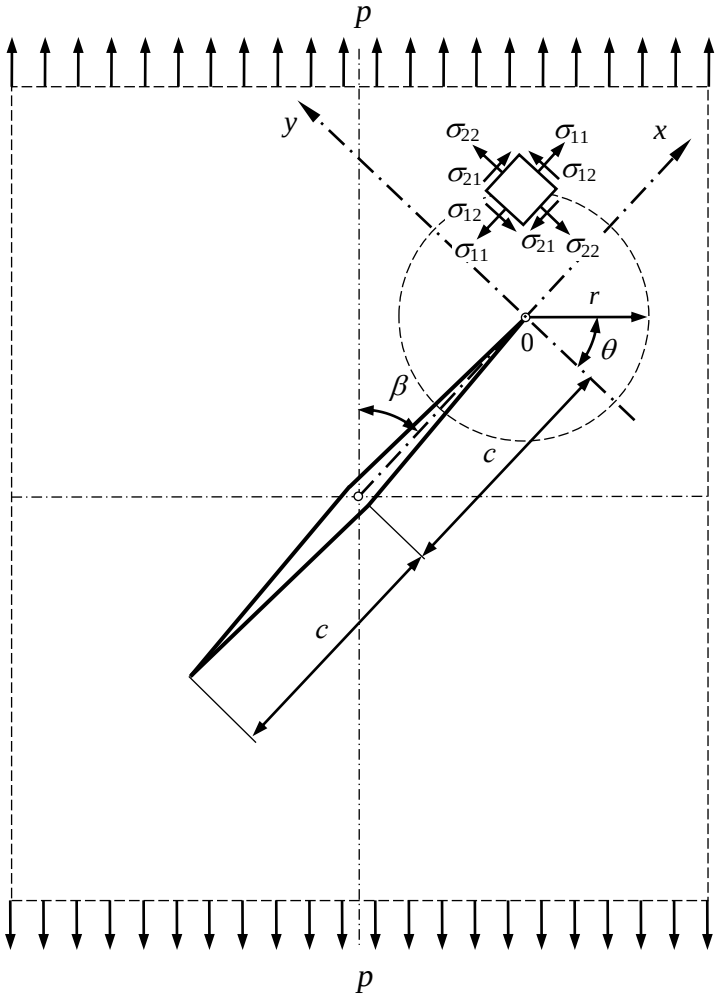

Рисунок 1. Наклонная трещина в условиях одноосного растяжения

При выводе уравнения (4) учтено, что в случае плоской деформации $\sigma_{33} = \nu(\sigma_{11} + \sigma_{22})$, $æ_1 = 3 - 4\nu$ и $æ_2 = 1$, а для случая плоского напряженного состояния $\sigma_{33} = 0$, $æ_1 = \dfrac{3-\nu}{1+\nu}$ и $æ_2 = \dfrac{1}{1+\nu}$. Выражение для удельной внутренней энергии (4) содержит особенность при $r = 0$, что является следствием принятой модели трещины в виде тонкого разреза.

Рассмотрим распределение удельной внутренней энергии в окрестности вершины трещины нормального отрыва $\beta = 90^\circ$ (рис. 2-3). Вычисления выполнены для кварцевого стекла при следующих исходных данных: $E = 73600$ МПа; $\alpha_t = 5{,}4 \cdot 10^{-7}$ 1/град; $\nu = 0{,}14$; $T = 293^\circ$; $p = 10$ МПа.

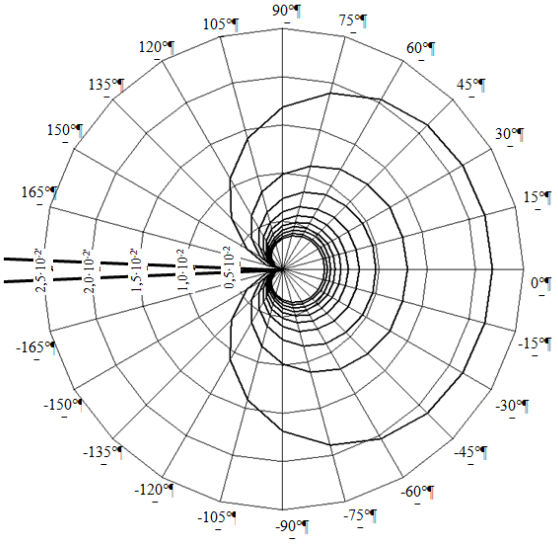

Рисунок 2. Плоское напряженное состояние

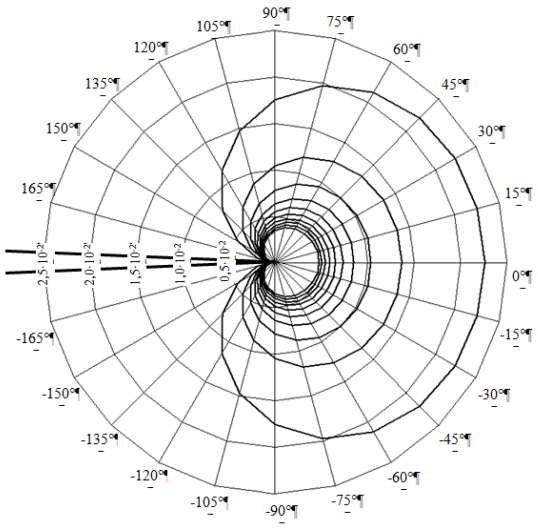

Рисунок 3. Плоская деформация

На графиках показаны кривые распределения удельной внутренней энергии при соотношениях r/c от 0,1 до 1,0 с шагом 0,1. Полученные кривые симметричны относительно направления исходной трещины. Максимальные значения энергии наблюдаются при угле $\theta = 0^\circ$, что хорошо согласуется с известными

экспериментальными данными. При растяжении бесконечной полосы трещина нормального отрыва распространяется перпендикулярно направлению внешних напряжений.

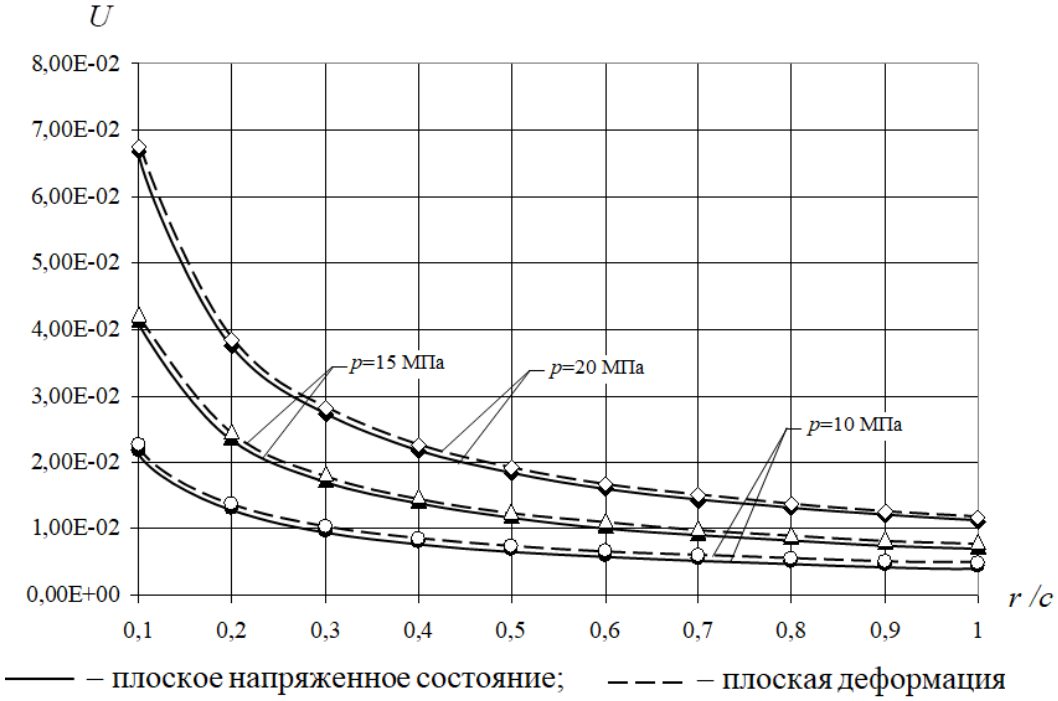

Рисунок 4. Влияние величины внешнего растягивающего напряжения на распределение внутренней энергии в окрестности вершины трещины

По мере удаления от вершины внутренняя энергия резко убывает (рис. 4). Величина удельной внутренней энергии нелинейно зависит от уровня внешних растягивающих напряжений. Распределения удельной внутренней энергии в окрестности вершины трещины для случаев плоского напряженного состояния и плоской деформации практически подобны. В одних и тех же точках твердого тела энергия при плоской деформации несколько превышает энергию при плоском напряженном состоянии в пределах от 4% до 14%.

Выполненный анализ позволяет сформулировать следующие направления дальнейших исследований:

1. Предложенный подход может служить основой для построения локального критерия разрушения тела с макротрещиной;
2. Для наклонных сквозных дефектов, образующихся в бесконечной полосе, можно определять угол начального распространения трещин, как для случая растяжения, так и для случая сжатия;
3. Используя некоторые дополнительные допущения, появляется возможность построения траектории развития трещины вплоть до полного разрушения твердого тела.

***

1. Дунаев И.М. Разрушение эластомеров. Механика эластомеров. Межвузовский сб. □ Краснодар: Краснодар. политехн. ин-т, 1981, С. 24-33.
2. Дунаев И.М., Дунаев В.И. Критерий прочности материалов, учитываю-щий накопление повреждений. // Металловедение и термическая обработка металлов. □ М.: Машиностроение, 2002, №2, С. 26-27.
3. Коваленко А. Д. Термоупругость. Киев: Высшая школа, 1975, 216 с.
4. Си Г., Либовиц Г. Математическая теория хрупкого разрушения // Разру-шение. Т. 2, Математические основы теории разрушения. М.: Мир, 1975, С. 83-203.

Юров В.М., Гученко С.А.

Поверхностное натяжение и толщина поверхностного слоя глицина

Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова (Казахстан, Караганда)

doi: 10.18411/lj-07-2019-76
idsp: ljournal-07-2019-76

Аннотация

В настоянной работе обобщена, предложенная нами, модель поверхностного слоя атомарно-гладких металлов на примере органического сегнетоэлектрика глицина. Поверхностный слой атомарно-гладкого кристалла состоит из двух слоев – d(I) и d(II). Слой толщиной при h=d назван слоем (I), а слой при h≈10d – слоем (II) атомарно-гладкого кристалла. При h≈10d начинает проявляться размерная зависимость физических свойств материала. При h=d в поверхностном слое происходит фазовый переход. Показано, что поверхностное натяжение играет важную роль в процессах кристаллизации островковых пленок. Показано, что толщина поверхностного слоя d(I) определяется одним фундаментальным параметром – атомным объемом элемента, который периодически изменяется в соответствие с таблицей Д.И. Менделеева

Ключевые слова: поверхностное натяжение, поверхностный слой, глицин, атомный объем, размерная зависимость.

Abstract

This paper summarizes the model of the surface layer of atomically smooth metals proposed by us on the example of organic ferroelectric glycine. The surface layer of an atomically smooth crystal consists of two layers, d (I) and d (II). A layer with a thickness at h = d is called a layer (I), and a layer at h≈10d is called a layer (II) of an atomically smooth crystal. At h≈10d, the size dependence of the physical properties of the material begins to appear. When h = d, a phase transition occurs in the surface layer. It is shown that surface tension plays an important role in the crystallization of island films. It is shown that the thickness of the surface layer d (I) is determined by one fundamental parameter — the atomic volume of the element, which periodically changes in accordance with the table D.I. Mendeleev.

Keywords: surface tension, surface layer, glycine, atomic volume, size dependence.

Введение

Исследование микро- и нанодоменных структур в органические сегнетоэлектриках является одним из актуальных направлений физической химии твердого тела [1-3].

Глицин является простейшей аминокислотой и в сегнетоэлектрической β-фазе может служить модельным материалом для изучения доменной структуры и механизма переключения поляризации в органических сегнетоэлектриках [3]. При нормальных условиях глицин кристаллизуется в три различные полиморфные фазы: α, β и γ [4], которые различаются расположением цвиттер-ионов, связанных между собой водородными связями. Две полиморфные фазы глицина относятся к моноклинной группе симметрии (α – P21/n; β – P21), одна – к водородных связей образуют двойные антипараллельные слои, взаимодействие между слоями осуществляется исключительно посредством Ван-дер-Ваальсовых сил. В β-фазе одиночные параллельные полярные слои, связанные между собой водородными связями, формируют трехмерную сеть. В γ-фазе цвиттер-ионы образуют полярные спирали, связанные друг с другом в трехмерную полярную сеть [3].

Островковые пленки образуются в результате распада нестабильных тонких пленок на отдельные островки. Вопрос стабильности тонких пленок является фундаментальным [3, 5, 6]. В случае, когда капли раствора оказываются закреплены, при высыхании ее высота уменьшается до тех пор, пока капля не превращается в тонкую

метастабильную пленку. Если энергия силы поверхностного натяжения становится меньше или равна поверхностной энергии подложки, такие пленки жидкости теряют стабильность. Происходит одновременный разрыв пленки в нескольких местах [3]. Варьирование скорости испарения при кристаллизации из капель, скоростей охлаждение, кристаллизация из расплава, кристаллизация в порах и с использованием специально подобранных подложек может также приводить к получению метастабильных полиморфных модификаций [1].

Создание островковых пленок может быть использовано для создания элементов электрической памяти [7], нанотрубок и нанопроводов [8], нанокристаллов для оптических и магнитных устройств [9].

В настоящей статье показано как определять поверхностное натяжение глицина и его практическое использование.

Поверхностное натяжение грицина

Гиббс [10] рассматривал поверхностный слой как геометрическую, не имеющей толщины поверхность. Для термодинамики поверхностный явлений используется поход Ван-дер-Ваальса, Гуггенгейма, Русанова, в котором поверхностный слой рассматривается как слой конечной толщины [11]. По современным представлениям [12] под поверхностным слоем понимают сверхтонкую пленку, находящуюся в термодинамическом равновесии с кристаллической основой, структура и состав которой отличны от объемных.

В работе [13] обобщена, предложенная нами, модель поверхностного слоя атомарно-гладких металлов. Схематически эта модель представлена на рис. 1 Поверхностный слой атомарно-гладкого кристалла состоит из двух слоев – d(I) и d(II). Слой толщиной при h=d назван слоем (I), а слой при h≈10d – слоем (II) атомарно-гладкого кристалла (рис. 1).

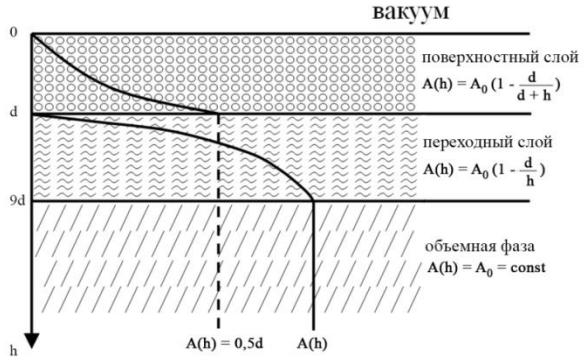

Рисунок 1 - Схематическое изображение поверхностного слоя

При h≈10d начинает проявляться размерная зависимость физических свойств материала. При h=d в поверхностном слое происходит фазовый переход. Он сопровождается резкими изменениями физических свойств, например, прямой эффект Холла-Петча меняется на обратный [13], происходит релаксация и реконструкция поверхности [12] и т.д. Значения слоя d(I) для некоторых металлов приведены в таблице 1 в работе [13].

Таблица 1

Толщина поверхностного слоя (I) некоторых металлов [13]

M	d, нм	M	d, нм	M	d, нм	M	d, нм	M	d, нм	M	d, нм
Li	0,7	Sr	5,8	Sn	1,4	Cd	1,3	Fe	2.2	Gd	5.3
Na	1,5	Ba	6,2	Pb	1,8	Hg	0,6	Co	2,0	Tb	5,3
K	2,6	Al	1,5	Se	1,3	Cr	2,7	Ni	1,9	Dy	5,3
Rb	2,9	Ga	0,6	Te	2,5	Mo	4,6	Ce	3,8	Ho	5,5
Cs	3,6	In	1,1	Cu	1,6	W	5,8	Pr	4,2	Er	5,5
Be	1,3	Tl	1,9	Ag	2,2	Mn	2,0	Nd	4,5	Tm	5,2
Mg	2,2	Si	3,4	Au	2,3	Tc	3,6	Sm	4,4	Yb	4,6
Ca	4,9	Ge	2,8	Zn	1,1	Re	4,6	Eu	5,8	Lu	5,7

Анализ округленных данных таблицы 1 показывает, что число монослоев в слое d(I) для большинства чистых металлов лежит в пределах 2-10 нм. Исключение составляют молибден, вольфрам, рений и РЗЭ-металлы. Экспериментально толщину d(I) можно определить методом скользящих рентгеновских лучей. Так для золота и кремния получено [14] d(I) = 2.4 и 3.4 нм соответственно, что практически совпадает с табл. 1.

Для определения толщины поверхностного слоя различных соединений нами использовалась размерная зависимость физического свойства A(r):

$$A(r) = A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{r}\right), \qquad r >> d$$
$$A(r) = A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{d + r}\right), \qquad r \le d. \qquad (1)$$

Параметр d связан с поверхностным натяжением σ формулой:

$$d = \frac{2\sigma\upsilon}{RT}, \qquad (2)$$

Здесь σ–поверхностное натяжение массивного образца; υ–объем одного моля; R–газовая постоянная; T–температура.

В работе [13], а также [15], было показано, что с большой точностью выполняется соотношение:

$$\sigma = 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot T_m, \qquad (3)$$

где Tm – температура плавления твердого тела (К).

Соотношение выполняется для всех металлов и для других кристаллических соединений. В координатах A(r)/A0 ~ 1/r получается прямая в соответствие с (1), тангенс которой дает d.

Беря в качестве температуры плавления глицина Tm = 508 К [1], по уравнению (3) получим σ = 0.356 Дж/м2 (σ = 0.210 Дж/м2 при T = 300 К). Сравним полученное значение с данными для некоторых подложек:

Таблица 2

Поверхностное натяжение некоторых веществ (T = 300 К) [16]

Кристалл	σ, Дж/м2	Кристалл	σ, Дж/м2	Кристалл	σ, Дж/м2
LiCl	0,205	Fe2O3	0,707	SnS	0,126
NaCl	0,158	SiO2	0,655	SiS2	0,519

Выше нами показано, что при LiCl-, NaCl- и SnS-подложках происходит одновременный разрыв пленки в нескольких местах [3]. Таким образом, поверхностное натяжение играет важную роль в процессах кристаллизации островковых пленок.

Существуют многочисленные теории поверхностного натяжения, описывающие взаимосвязь различных параметров структуры вещества и позволяющие оценить эти свойства. Наиболее простой является зависимость, отражающая взаимосвязь поверхностного натяжения с плотностью и атомной массой вещества (формула С.Н. Задумкина [17]): σ = αρ/M, где ρ - плотность, M - атомная масса, α - коэффициент, равный 7,87·10-3 мДж/м2. Уравнение (2) перепишем в виде:

$$\sigma = \frac{d \cdot R \cdot T}{2\upsilon} = \frac{\alpha}{\upsilon}. \qquad (4)$$

Уравнение (4) формально совпадает с формулой С.Н. Задумкина: σ = α/υ, но она дает заниженный результат и не содержит зависимости от температуры.

Толщина поверхностного слоя глицина

Если подставить соотношение (3) в (2), то при T = Tm получим:

$$d(I) = 0.17 \cdot 10^{-3} \upsilon. \qquad (5)$$

Уравнение (5) показывает, что толщина поверхностного слоя d(I) определяется одним фундаментальным параметром – атомным объемом элемента (υ = M/ρ, M – молярная масс (г/моль), ρ – плотность (г/см3)), который периодически изменяется в соответствие с таблицей Д.И. Менделеева. Для глицина формула (1) дает: d(I) = 8 нм.

Используя параметр кристаллической решетки [3] просчитаем количество монослоев R в слое глицина d(I).

Таблица 3 - Количество монослоев R в слое глицина d(I)

	Группа симметрии	a, Å	b, Å	c, Å	Число атомов, R
α-глицин	Моноклинная P21/n	5.1047	11.9720	5.4631	a/b/c/ = 16/4/14
β-глицин	Моноклинная P21	5.0932	6,2723	5.3852	a/b/c/ = 16/13/15
γ-глицин	Тригональная P31	7.0383	7.0383	5.4813	a/b/c/ = 11/11/15

Из таблицы 3 видно, что количество монослоев R в слое глицина d(I) составляет ~ 11 – 15 постоянных решеток. Толщина сегнетоэлектрической доменной стенки, измеренная экспериментально с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения [3], составляет несколько постоянных решетки, тогда как в ферромагнетиках толщина доменной стенки достигает порядка сотни постоянных решетки [18]. Это означает, что механические напряжения вблизи доменных стенок должны быть минимальны [19].

Заключение

В настоящей статье показано как определять с хорошей точностью поверхностное натяжение глицина (и других органических кристаллов) и их толщину поверхностного слоя. Было показано, что с большой точностью выполняется соотношение: $\sigma = 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot T_m$, где Tm – температура плавления твердого тела (К). Приведенное соотношение выполняется для всех металлов и для других кристаллических соединений. Полученное уравнение показывает, что толщина поверхностного слоя d(I) определяется одним фундаментальным параметром – атомным объемом элемента: $d(I) = 0.17 \cdot 10^{-3} \upsilon$ (υ = M/ρ, M – молярная масс (г/моль), ρ – плотность (г/см3)), который периодически изменяется в соответствие с таблицей Д.И. Менделеева.

Благодарность

Работа выполнена по программе Министерства образования и науки Республики Казахстан. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0781.

***

1. Лосев Е.А. – Дис… канд. хим. наук. Новосибирск: Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, 2014.
2. Эшова Г.Б. – Дис… канд. хим. наук. Душанбе: ТНУ, 2017.
3. Васильева Д.С. – Дис… канд. хим. наук. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2018.
4. Goryainov S.V., Boldyreva E.V., Kolesnik E.N. // Chemical Physics Letters. 2006. Vol. 419. P. 496.
5. Thompson C.V // Annu. Rev. Mater. Res. 2012. Vol. 42. P. 399.
6. Harrington G.F., Campbell J.M., Christenson H.K. // Cryst. Growth Des. 2013. Vol. 13. P. 5062.
7. Chen, J.-H. // Electrochem. Solid State Lett. 2007. Vol. 10. P. 302.
8. Yun J. // Carbon. 2010. Vol. 48. P. 1362.
9. Armelao L. // Coord. Chem. Rev. 2006. Vol. 250. P. 1294.
10. Гиббс Дж. В. Термодинамические работы. М.-Л.: ГИТТЛ. 1950.
11. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. Л.: Химия. 1967.
12. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. М.: Наука. 2006.
13. Юров В.М., Гученко С.А., Лауринас В.Ч. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2018. Вып. 10. – С. 691.

14. Guo J. X-Rays in Nanoscience: Spectroscopy, Spectromicroscopy, and Scattering Techniques. - Wiley-Vch. Verlag. 2010.
15. Рехвиашвили С.Ш., Киштикова Е.В., Кармокова Р.Ю., Кармоков А.М // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. вып. 2. – С. 1.
16. Юров В.М., Портнов В.С., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н. Размерные эффекты и физические свойства малых частиц и тонких пленок. - Караганда: Изд-во Казахстанско-Российского ун-та, 2013.
17. Задумкин С.Н. // Докл. АН СССР. 1957. Том 112. № 3. С. 453.
18. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы / пер. с англ. В.В. Леманова и Г.А. Смоленского. – Москва: Мир, 1981. (Lines M., Glass A. Principles and Applications of Ferroelectrics and Related Materials. Clarendon Press, 1979.)
19. Иона Ф., Ширане Д. Сегнетоэлектрические кристаллы / пер. с англ. Л.А. Фейгина и Б.К. Севастьянова под ред. Л.А. Шувалова. – Москва : Мир, 1965. (Jonah F., Shirane D. Ferroelectric crystals. Pergamon Press, Oxford, 1962).

РАЗДЕЛ XVIII. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лаврухина Т. В., Мурзахожин А.Д.

Развитие PON технологий

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»
(Россия, Липецк)

doi: 10.18411/lj-07-2019-77
idsp: ljournal-07-2019-77

Аннотация

В работе рассмотрены различные технологии пассивных оптических сетей (PON), проведено сравнение двух технологий GPON и 10G-EPON. Так же приведены причины возросшей популярности GPON среди провайдеров.

Ключевые слова: передача информации, волоконно-оптические линии, PON, APON, BPON, GPON,10G-EPON, OLT, ONT, ONU.

Abstract

The paper considers various technologies of passive optical networks (PON) and compares two technologies GPON and 10G-EPON. The reasons for the increased popularity of GPON among providers are also given.

Keywords: data transmission, fiber optic lines, PON, APON, BPON, GPON,10G-EPON, OLT, ONT, ONU.

Технологии во всем мире совершенствуются изо дня в день, но определить начальный этап развития, приоритет и актуальность на ранней стадии довольно трудно. Для этого и проводят конференции, на которых обсуждаются вопросы их внедрения. PON технологию этот этап не обошел стороной. Так, в 2003 году на 6-ой Международной выставке ведомственных и корпоративных информационных систем, сетей и связей (ВКСС-2003) компания «Телеком Транспорт» представила оборудование PON, машину для навивки волоконно-оптических кабелей на низковольтные ЛЭП. В этом же году несколько крупных московских и региональных операторов связи остановили свой выбор на технологии PON фирмы Terawave Communications. Так технология PON начала развиваться в России.

Сама PON технология зародилась еще в 1995 году, когда создали консорциум для реализации идеи множественного доступа по одному волокну. Ее суть заключается в передачи сигнала между центральным узлом, обеспечивающим подключение к магистрали (SDH/ATM), и абонентскими узлами благодаря полностью пассивной оптической сети. В промежуточных узлах находятся разветвители (сплиттеры), не требующие питания и обслуживания. В 1998 году приняли спецификацию APON (ATM PON). Она предусматривала передачу в сети PON ячеек ATM со скоростью 155 Мбит/с в каждом направлении. Очень скоро его вытеснил BPON (broadband PON), скорость передачи которого уже составляла 622 Мбит/с, а также включающего возможность реализовывать широкополосные сервисы, доступ по Ethernet и видео.

В связи с быстрым развитием Ethernet в 2004 году был принят стандарт EPON (Ethernet Passive Optical Network). Его современный аналог – 10G-EPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network), стандартизация которого была принята в 2009 году. Их работа основана на протоколе MPCP (Multi-Point Control Protocol).

В 2003 году было выпущено первое описание GPON технологии. GPON является развитием стандарта BPON. Как и технология BPON (APON), GPON использует ATM ячейки, которых нет в 10G-EPON. Таким образом, можно сказать, что технология PON в конечном счете поделилась на две самостоятельные технологии, которые развивались, и в современных реалиях мы получили 10G-EPON и GPON.

В 10G-EPON технологии есть два основных компонента: OLT (optical line termination) и ONU (optical network unit). OLT-коммутатор – это “отправная точка” сети

как для 10G-EPON, так и для GPON. Данное устройство осуществляет передачу информации на абонентские терминалы и прием обратных пакетов от них, агрегацию и коммутацию трафика. Его функционал соответствует свитчу второго уровня. ONU – это оптический сетевой блок. Он находится на стороне абонента. В его задачи входят преобразование оптического сигнала в электрический сигнал, отправка электрического сигнала отдельным пользователям. Так же ONU собирает и обрабатывает различные типы данных, поступающие от пользователей, и отправляет их в OLT. Процессы оптимизации и реорганизации потока данных, происходящие в ONU, благодаря которым осуществляется более эффективная их доставка, называются Grooming (чистка). OLT поддерживает распределения полосы пропускания, что позволяет беспрепятственно доставлять данные в OLT от клиента. ONU поддерживает подключение практически всех видов кабелей, от медной витой пары, до Wi-Fi.

10G-EPON, благодаря ONU, дает возможность применять один OLT-коммутатор на 64 абонентских устройствах, на расстоянии до 20 км. Согласно стандарту, поддерживаются два типа конфигурации – симметричный и асимметричный. В асимметричной конфигурации нисходящий поток данных (от OLT к пользователям) транслируется со скоростью 10Гбит/с, а восходящие потоки (от всех абонентов к главной станции) подаются с общей скоростью 1Гбит/с. А в симметричном оба потока имеют скорость 10Гбит/с. 10G-EPON передает данные в пакетах переменной длины до 1518 байтов. Эти пакеты больше подходят для IP-трафика, чем 53-байтовые софты фиксированной длины, используемые другими пассивными оптическими сетями, такими как GPON. К примеру, типичные накладные расходы GPON составляют приблизительно 13,22%, в то время как для 10G-EPON примерно 7,42%. Высокое отношение данных к служебным данным позволяет использовать их с низко-затратными оптическими компонентами.

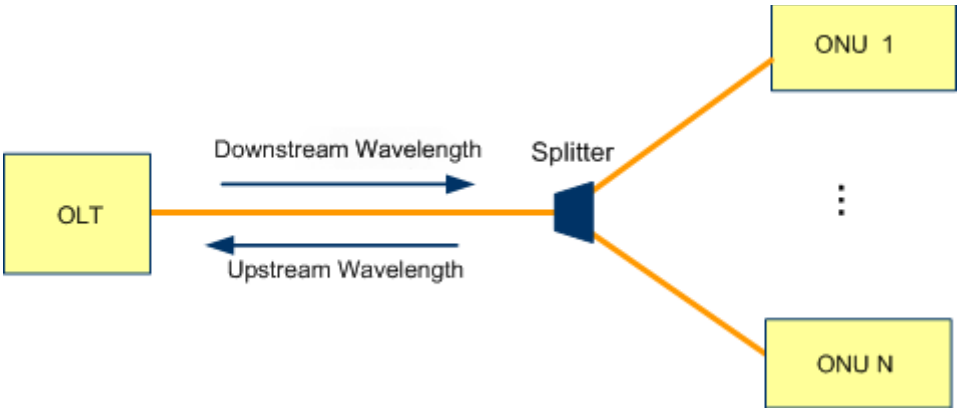

Схема работы OLT-ONU соединения для 10G-EPON технологии

В GPON так же два основных компонента OLT и ONU или OLT и ONT. ONT (optical network termination) выполняет те же задачи, что и ONU. Современные OLT и ONT/ONU соединения используют модули для достижения triple-play услуг GPON. То есть пользователю по одному кабелю предоставляется услуги кабельного телевидения, телефонной связи и высокоскоростного доступа в интернет. Пропускная способность, согласно стандарту, для одиночного соединения OLT-ONT – 2,4 Гбит/с входящего и 1,2 Гбит/с исходящего трафика. OLT поддерживает до 128 подключений ONT с использованием протокола множественного доступа с временным разделением каналов (TDMA).

Как можно заметить, 10G-EPON по техническим характеристикам не уступает GPON. Но тенденции показывают, что более быстрым темпом абонентам навязывают технологию GPON. Видно, что количество клиентов на один OLT в 2 раза больше, что помогает экономить на их количестве, также ONU, используемый в 10G-EPON, позволяет передавать пользователю либо 1 Гбит/с, либо 10 Гбит/с, тогда как провайдерам выгодно предоставлять услуги с другими скоростями, в зависимости от тарифа абонента. Именно

поэтому на данном этапе развития пассивных оптических сетей, GPON технология занимает лидирующую позицию и уже во всех регионах страны можно найти провайдера, который может предоставить данную услугу.

***

1. Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification/ ITU-T Recommendation G.984.4 (06.2004)
2. Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification/ ITU-T Recommendation G.984.4 (02.2008)
3. Next Generation Ethernet Passive Optical Network/IEEE STANDARDS ASSOCIATION (11.2013)

Полякова М.Д.

Информационные технологии в обучении аудированию на занятиях английского языка

МГОУ
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-07-2019-78
idsp: ljournal-07-2019-78

Аннотация

В статье рассматривается процесс обучения аудированию при работе со студентами неязыковых факультетов вузов. Особое внимание уделяется методике рационального использования информационных технологий в обучении англоязычному аудированию в вузе.

Ключевые слова: аудирование; информационные технологии; видеофильм; аудиокнига; Интернет; иностранный язык; аудиотекст

Abstract

The article is about teaching listening for the bachelors of non-linguistic universities. Particular attention is paid to the method of the rational use of information technology in teaching English-language listening at universities.

Keywords: listening; information technology; video; audiobook; Internet; foreign language; audiotext

В настоящее время знание английского языка становится неотъемлемой частью нашей жизни. Поскольку английский язык считается языком международного общения, преподаванию этой дисциплины уделяется особое внимание и в неязыковых вузах.

Коммуникативная методика преподавания является ведущей. Студентам-бакалаврам преподается умение обрабатывать информацию на языке, касательно их профессиональной сферы деятельности. Но нельзя забывать о том, что нашим выпускникам надо уметь понимать и реагировать на высказывания носителей языка или иностранцев, использующих иностранный язык как международный. Подобное общение происходит и на конференциях в устной речи в режиме реального общения, и в режиме виртуального общения в сети интернет при обмене знаниями в профессиональной сфере деятельности.

Широко известно, что студенты неязыковых факультетов вузов приходят на обучение с разным уровнем языковой подготовки. Важно понимать, что часть студентов с трудом смогут в начале учебного процесса воспринимать англоязычную информацию социокультурного характера, в то время как будут такие студенты, которые смогут понять информацию в профессиональной сфере.

Методике обучения аудированию в вузе следует уделять особое внимание. Ещё недавно считалось, что восприятие речи на слух является довольно простым умением. Так же было распространено мнение, что, если при обучении устной речи преподаватель

уделит всё внимание говорению, то учащиеся смогут понимать речь без дополнительной подготовки. Но со временем на практике мы убедились, что это мнение не состоятельно.

Хотя умения говорения и аудирования тесно взаимосвязаны, добиться развития понимания именно устной речи можно лишь в условиях применения специально разработанной методики.

Согласно некоторым исследованиям, даже люди, имеющие высокий уровень владения иностранным языком, испытывают трудности при понимании естественной речи носителей языка. Психологи так же утверждают, что восприятие и понимание усной речи являются довольно сложной деятельностью.

Таким образом, аудирование оказывается одним из самых сложных видов речевой деятельности и должно развиваться наравне с другими умениями.

Теоретической основой данной работы служит ряд работ по методике преподавания английского языка в вузе с использованием новых информационных технологий (в частности, исследование Р.Мильруд, Е.Полат, П.Сердюкова, Н. Елухиной).

Аудирование - это понимание воспринятой на слух речи. В психофизиологии аудирование определяется как перцептивная умственная мнемичная деятельность. Перцептивная – из-за осуществления восприятия/рецепции/перцепции; умственная – из-за связи с основными умственными операциями: анализом, синтезом, конкретизацией, индукцией, дедукцией, сравнением; мнемичная- т.к. происходит определение и усвоение признаков языковых и речевых единиц, сопоставление с эталоном, который сохраняется в памяти. [5, с. 25]

Аудирование является комплексной речевой умственной деятельностью. Оно базируется на естественной способности, которая совершенствуется по мере индивидуального развития человека.

Материальной основой аудирования является аудиотекст. Как и всякий текст, он имеет свою композицию, структуру и смысловую организацию. В отличие от письменного текста он интонационно оформлен, а его воссоздание предопределяется соответствующим темпом, однократностью и необратимостью восприятия, контактностью коммуникантов и направленностью общения, которое поддерживается паралингвальными средствами. [4, с. 39]

Каковы же особенности аудиотекстов в работе со студентами неязыковых факультетов? Исходя из специфики изучения языка в высшей школе, важно разделять тексты и диалоги по социокультурной и профессиональной тематике. На первом курсе в идеале необходимо провести разделение студентов по уровням и, в зависимости от их уровня, подбирать аудиокурсы на социокультурную и страноведческую тематику. Хорошим аудиокурсом сопровождаются, к примеру, учебник «Face-to-face» издательства Cambridge University Press и пособие «Laser» издательства Macmillan.

Что касается студентов второго курса, то, например, при работе со студентами-биологами, математиками и физиками мы рекомендуем использовать аудиокурс учебника «Guide to science» издательства Macmillan.

При работе с аудиотекстами преподавателю необходимо придерживаться следующей методики. Провести подготовительный этап, на котором выделяются языковые трудности, тема прослушивания, лексический материал, особенности произношения говорящего. Стоит заметить, что для студентов 1 курса рекомендуется прослушивать говорящего, обладающего Received Pronunciation, общепризнанным британским вариантом произношения. Также можно использовать английскую речь иностранца из европейской страны.

Далее происходит акт слушания в количестве 2 раз с последующим обсуждением и разбором прослушанной информации со студентами с намеренными остановками аудиоматериала и объяснениями и комментариями преподавателя. В конце можно предложить студентам прослушать текст еще раз для подведения итогов разбора аудиотекста.

При работе со студентами-второкурсниками также используется данная методика, возможно использование более беглой речи британцев или жителей других частей

Великобритании. На данном этапе стоит уделить особое внимание лексике профессиональной сферы общения, заранее произнести ее со студентами, обсудить возможные варианты произношения.

На сегодняшний день преподаватель обладает большим набором цифровых технологий для воспроизведения аудиотекстов. Это и гаджеты, и компьютер, и CD проигрыватель, и использование сети Интернет.

Цифровые технологии в обучении ИЯ в вузе имеют рад преимуществ:

- студентами лучше воспринимается и запоминается материал;
- экономное использование времени;
- индивидуализация обучения, определение глубины и последовательности усвоения, темпа работы;
- интенсификация обучения и повышение уровня мотивации.

Немного о других технологиях, используемых для аудирования. Просмотр видеофильма способствует развитию внимания и памяти учащихся. Во время просмотра в аудитории возникает атмосфера коллективной познавательной деятельности. Видеозанятия очень эффективны при обучению аудированию. Использование аудиокниги также популярно среди преподавателей. Доказательством важной роли аудиокниги в обучении чтению и аудированию служит тот факт, что сегодня многие авторитетные зарубежные англоязычные издательства, такие как Oxford University Press, Penguin, Cambridge University Press, Express Publishing, Longman активно выпускают аудиокниги.

Foren или UseNet (телеконференции) - участие в обсуждении любой темы или проблемы-асинхронное письменное общение в форме дискуссии. Возможность обсуждения тем и проблем, связанных с изучением иностранного языка.

Chatrooms или IRC (разговоры в реальном времени) – участие в общении (в форме диалога или дискусса). Синхронное письменное и устное общение. Возможность взаимообучения.[7, с.20]

Подводя итог, необходимо признать, что современному преподавателю вуза нужно знать и уметь работать с современными цифровыми технологиями, идти в ногу с современными средствами связи, доступными студентам, ориентироваться в тех возможностях, которые предоставляют гаджеты и сеть Интернет в целях аудирования и обмена устной информацией. Конечно, это не исключает использование традиционных технологий, однако именно новые информационные технологии становятся главным средством доступа к разным источникам информации, что является одним из важнейших аспектов современного образовательного процесса.

***

1. Барменкова О.И. Видеозанятия в системе обучения иностранной речи// Иностранные языки в школе. – 2007. – №3 – с. 20.
2. Верисокин Ю.И. Видеофильм как средство мотивации школьников при обучении иностранному языку // ИЯШ. – 2014. – №5. – с.31.
3. Владимирова Н.М. Интернет на уроках иностранного языка// ИЯШ. – 2002. – №2. – с. 52-55.
4. Гез Н.И. О факторах, определяющих успешность аудирования иностранной речи //ИЯШ. – 1999. – №5. – с. 38-41.
5. Елухина Н.В. Основные трудности аудирования и пути их преодоления // ИЯШ. – 1995. – №2.
6. Сергеева А.М. Новые информационные технологи //Информатика и образование. – 2001. – №1. – с. 14-22.

РАЗДЕЛ IXX. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Антоновская О.Г.[1], Зайцева М.Н.[2]

О методике моделирования динамики синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором и астатизирующирм фильтром

[1]Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
[2]Нижегородский государственный автомеханический техникум
(Россия, Нижний Новгород)

doi: 10.18411/lj-07-2019-79
idsp: ljournal-07-2019-79

Аннотация

В настоящей работе изложены основные положения методики построения математических моделей синтезаторов частот с импульсным частотно-фазовым детектором и запоминанием сигнала управления на астатизирующей емкости. Методика моделирования использует в качестве фазовой координаты степень заполненности счетчика и кусочно-постоянный характер изменения во времени выходного сигнала фазового детектора.

Ключевые слова: синтезатор частоты, математическая модель, динамика системы, метод точечных отображений.

Abstract

In current work the main points of methods of mathematical models construction for frequency synthesizers with pulse frequency-phase detector and control signal storage on astatic capacitance. Modeling methods use occupation counter degree as phase coordinate and take into account piecewise-constant character in time of phase detector output signal.

Key words: frequency synthesizer, mathematical model, system dynamics, point mappings method.

К настоящему времени известны многочисленные примеры использования в схемах синтезаторов частот (СЧ) фазовых детекторов (ФД), реализующих на своем выходе кусочно-постоянную форму управляющего сигнала и являющуюся результатом логического анализа относительного расположения импульсов сигнала эталонного генератора (ЭГ) и выходных импульсов декадного счетчика с перестраиваемым коэффициентом деления (ДПКД) [1]. Сложность схем СЧ с такими ФД вынуждает до сих пор при анализе их динамики обращаться, как к вынужденной мере, к различным приближенным методам исследования [2] и, в том числе, на основе использования асимптотических методов, когда в качестве нулевого приближения используется статическая характеристика ФД [3]. Совершенно очевидно, что для анализа динамики таких СЧ с помощью приближенных методов недостаточно не только при исследовании устойчивости динамических процессов в целом, но и при определении предельного быстродействия СЧ при перестройке частоты по диапазону.

В целом математическое моделирование динамики СЧ подразумевает использование не только математических моделей (ММ) различной степени сложности, но соответствующей им иерархии математических методов исследования [2]. Если сложность ММ связана, в основном, с размерностью задачи и конструкцией пространства состояний [4], то целесообразность использования того или иного метода исследования ММ диктуется соображениями, связанными с простотой применения метода и приемлемой точностью получающихся результатов.

С методологической точки зрения следует, однако, выделить метод точечных отображений (МТО), поскольку он органически объединяет в единое целое и специфику ММ, и свойства поведения фазовых траекторий как в локальном, так и в глобальном плане. При использовании МТО приближенные математические методы выступают в роли различных технологических приемов описания свойств траекторий [5].

В настоящей статье приводятся основные положения методики моделирования СЧ с импульсным частотно-фазовым детектором (ИЧФД) и астатизирующей емкостью, реализующей этапы запоминания информации. Методика моделирования существенно использует в качестве фазовой координаты степень заполненности счетчика (ДПКД) и кусочно-постоянный характер изменения во времени выходного сигнала фазового детектора (ФД) [6,7]. Ранее было показано, что в асимптотическом случае малого значения астатизирующей емкости исследование динамики СЧ сводится к изучению точечного отображения прямой в прямую [6,8]. В случае учета конечного значения астатизирующей емкости, реализованного в настоящем исследовании, размерность отображения увеличивается на единицу. При этом возникают дополнительные особенности в описании ММ и способе сведения исследования к изучению соответствующего точечного отображения.

При учете неидеальности записи и хранения информации в интервалах постоянства выходного сигнала ФД напряжение на выходе фильтра определяется уравнением [1]

$$C\frac{dV}{dt}+\frac{V}{R}=i_{\partial}(t), \tag{1}$$

в котором R – включенное параллельно запоминающей емкости C эквивалентное сопротивление диссипативных потерь, $i_{\partial}(t)$ – выходной ток ИЧФД, выполненный с использованием двух триггеров и схемы И–ИЛИ и принимающий в зависимости от динамики процесса одно из трех постоянных значений $+I_{\partial},0,-I_{\partial}$. При использовании уравнения для набега фазы φ перестраиваемого генератора (ПГ) в общепринятой форме [6]

$$\frac{d\phi}{dt}=2\pi f_0 g(v),$$

где f_0 – частота управляемого генератора, g(v) – нормированная на единицу монотонно возрастающая характеристика ПГ, и при использовании в качестве фазовой координаты тракта ПГ–ДПКД степени заполненности счетчика θ, переходим к уравнению

$$\frac{d\theta}{dt}=\frac{f_0}{N}g(v) \qquad (0\le\theta\le 1), \tag{2}$$

в котором N – показатель ДПКД.

Уравнения (1), (2) являются уравнениями ММ СЧ. С целью минимизации количества параметров в ММ СЧ перейдем в (1), (2) к безразмерному времени $\tau=t/T_0$, где T_0 – период сигнала эталонного генератора (ЭГ), показателю счетчика $\alpha=N/f_0T_0$, безразмерным: напряжению $x=v/v_н$, где нормирующее напряжение $v_н=T_0I_{\partial}/C$, параметру диссипации $\mu=T_0/RC$ и управлению $u=i_{\partial}(t)/I_{\partial}$.

Тогда безразмерные уравнения ММ СЧ в произвольном периоде ЭГ принимают вид

$$\dot{x}+\mu x=u(\tau),$$
$$\alpha\dot{\theta}=g(x(\tau)), \qquad (0\le\theta\le 1, 0\le\tau\le 1), \tag{3}$$

где точкой обозначено дифференцирование по τ.

Переходя к изучению свойств ММ СЧ, необходимо отметить, что в (3) управление $u(\tau)$ является кусочно-постоянной функцией времени и поэтому, аналогично системам с переменной структурой, исследование динамики ММ СЧ можно проводить с привлечением трех подпространств Π_1, Π_2 и Π_3, характеризующихся тем, что в

каждом из них управление $u(\tau)$ принимает соответственно постоянное значение +1, 0, -1 [6]. Полное представление о фазовых траекториях ММ СЧ в этом случае получается после исследования свойств траекторий в каждом из подпространств и характера перехода траекторий из одного подпространства в другое [9].

Согласно логике работы ИЧФД приход в Π_1 траектории на сечение τ=1 означает появление импульса ЭГ, т. е. соответствует удержанию ИЧФД в режиме u=+1. Поскольку в этом случае координаты x и θ на изменяют своих величин, то это означает перенос изображающей точки на сечение τ=0 этого же подпространства при неизменных значениях x и θ. Если в Π_1 фазовая траектория движения приходит с течением времени на сечение θ=1, то осуществляется появление на выходе счетчика управляющего импульса, и поэтому изображающая точка движения в этот момент при сохранении величины x ФНЧ скачком переводится в Π_2, что соответствует переходу ИЧФД в режим запоминания напряжения. Аналогично переходам в Π_1 осуществляются переходы из Π_2 и Π_3. То есть реализация фактических переходов из подпространства в подпространство и соответствующих им точечных отображений зависит от свойств фазовых траекторий в каждом из подпространств.

Таким образом, введение в уравнениях ММ СЧ координаты счетчика позволяет свести изучение свойств фазовых траекторий к изучению соответствующих точечных отображений, каждое из которых характеризует определенное состояние сигнала управления.

В случае линейной характеристики

$$g(x) = 1 + Sx \qquad (x > -(1/S))$$

и использования для реализуемых фазовыми траекториями переходов между различными сечениями подпространств Π_1, Π_2 и Π_3, задача исследования динамики СЧ сводится к необходимости изучения свойств последовательностей соответствующих точечных отображений. Для определенности примем для сечений C_{ij} подпространств Π_i точечных отображений $T_{ijk,ln}$ и областей G_{ijk} их определения следующие значения индексов: i – номер отображаемого подпространства; j=1 соответствует отображению сечения θ=0, j=2 – отображению сечения τ=0; k=1 и 2 характеризуют разделение отображаемого сечения на части; l – номер подпространства, в которое попадает отображаемая точка; n=1 соответствует сечению θ=0 и n=2 – т. е. с номером индекса l. Тогда анализ поведения фазовых траекторий ММ СЧ в каждом из подпространств показывает, что точки сечения τ=0 (C_{12}) подпространства Π_1, являющиеся начальными при изучении регулярных движений, либо остаются в Π_1 и их поведение описывается отображением

$$T_{121,12}(\mu): \begin{array}{l} \bar{x} = x_0 e^{-\mu} + (1 - e^{-\mu})\mu^{-1}, \quad (\theta_0 < \theta_0(\Gamma_1(\mu)) \in G_{121}; \bar{x}, \bar{\theta} \in C_{12}) \\ \bar{\theta} = \theta_0 + \alpha^{-1}[1 + S(1 - e^{-\mu})\mu^{-1}x_0 + S\mu^{-1}(1 - (1 - e^{-\mu})\mu^{-1})] \end{array}, \quad (4)$$

либо уходят в подпространство Π_2 и их поведение определяется отображением

$$T_{122,21}(\mu): \begin{array}{l} \bar{x} = x_0 e^{-\mu\bar{\tau}} + (1 - e^{-\mu\bar{\tau}})\mu^{-1}, \quad (\theta_0 > \theta_0(\Gamma_1(\mu)) \in G_{122}; \bar{x}, \bar{\tau} \in C_{21}) \\ \bar{\tau} + S(1 - e^{-\mu\bar{\tau}})\mu^{-1}x_0 + S\mu^{-1}(\bar{\tau} - (1 - e^{-\mu\bar{\tau}})\mu^{-1}) = \alpha(1 - \theta_0) \end{array}. \quad (5)$$

В (4), (5) используется обозначение границы $\Gamma_1(\mu)$ вида

$\Gamma_1(\mu):$

$$\theta_0 = \theta_0(\Gamma_1) = 1 - \alpha^{-1}[1 + S(1 - e^{-\mu})\mu^{-1}x_0 + S\mu^{-1}(1 - (1 - e^{-\mu})\mu^{-1})].$$

Остальные случаи преобразования сечений подпространств определяются точечными отображениями: сечения C_{21} –

$$T_{211,12}(\mu): \begin{array}{ll} \bar{x} = x_0 e^{-\mu(1-\tau_0)}, & (x_0 < x_0(\Gamma_2(\mu)) \in G_{211}; \bar{x}, \bar{\theta} \in C_{12}) \\ \bar{\theta} = \alpha^{-1}[1 - \tau_0 + S(1 - e^{-\mu(1-\tau_0)})\mu^{-1}x_0] & \end{array},$$

$$T_{212,31}(\mu): \begin{array}{ll} \bar{x} = x_0 e^{-\mu(\bar{\tau}-\tau_0)}, & (x_0 > x_0(\Gamma_2(\mu)) \in G_{212}; \bar{x}, \bar{\tau} \in C_{31}) \\ \bar{\tau} - \tau_0 + S(1 - e^{-\mu(\bar{\tau}-\tau_0)})\mu^{-1}x_0 = \alpha & \end{array},$$

где граница

$$\Gamma_2(\mu): x_0 = x_0(\Gamma_2(\mu)) = \mu S^{-1}(\alpha - 1 + \tau_0)(1 - e^{-\mu(1-\tau_0)})^{-1} \ (x_0, \tau_0 \in C_{21}),$$

сечения C_{22} –

$$T_{222,31}(\mu): \begin{array}{ll} \bar{x} = x_0 e^{-\mu\bar{\tau}}, & (x_0 > x_0(\Gamma_4(\mu)) \in G_{222}; \bar{x}, \bar{\tau} \in C_{31}) \\ \bar{\tau} + S(1 - e^{-\mu\bar{\tau}})\mu^{-1}x_0 = (1 - \theta_0)\alpha & \end{array},$$

$$T_{221,12}(\mu): \begin{array}{ll} \bar{x} = x_0 e^{-\mu} & (x_0 < x_0(\Gamma_1(\mu)) \in G_{221}; \bar{x}, \bar{\theta} \in C_{12}) \\ \bar{\theta} = \theta_0 + \alpha^{-1}[1 + S(1 - e^{-\mu})\mu^{-1}x_0] & \end{array},$$

где граница

$$\Gamma_4(\mu): \ \theta_0 = \theta_0(\Gamma_4(\mu)) = 1 - \alpha^{-1}[1 + S(1 - e^{-\mu})\mu^{-1}x_0],$$

сечения C_{31} –

$$T_{311,22}(\mu):$$

$$\bar{x} = x_0 e^{-\mu(1-\tau_0)} + (1 - e^{-\mu(1-\tau_0)})\mu^{-1}, \quad (x_0 < x_0(\Gamma_3(\mu)) \in G_{311}; \bar{x}, \bar{\theta} \in C_{22})$$

$$\bar{\theta} = \alpha^{-1}[1 - \tau_0 + S(1 - e^{-\mu(1-\tau_0)})\mu^{-1}x_0 + S\mu^{-1}(1 - \tau_0 - (1 - e^{-\mu(1-\tau_0)})\mu^{-1})]$$

$$T_{312,31}(\mu):$$

$$\bar{x} = x_0 e^{-\mu(\bar{\tau}-\tau_0)} + (1 - e^{-\mu(\bar{\tau}-\tau_0)})\mu^{-1}, \quad (x_0 > x_0(\Gamma_3(\mu)) \in G_{312}; \bar{x}, \bar{\theta} \in C_{31})$$

$$\bar{\tau} - \tau_0 + S(1 - e^{-\mu(\bar{\tau}-\tau_0)})\mu^{-1}x_0 + S\mu^{-1}(\bar{\tau} - \tau_0 - (1 - e^{-\mu(\bar{\tau}-\tau_0)})\mu^{-1}) = \alpha,$$

где граница

$$\Gamma_3(\mu): \ x_0 = x_0(\Gamma_2(\mu)) = \mu S^{-1}(\alpha - 1 + \tau_0)(1 - e^{-\mu(1-\tau_0)})^{-1} + \\ + (1 - e^{-\mu(1-\tau_0)})^{-1} \ (1 - \tau_0 - (1 - e^{-\mu(1-\tau_0)})\mu^{-1}).$$

Анализ приведенных точечных отображений показал, что в зависимости от величины синтезируемой частоты, т. е. от величины параметра α, и значений остальных параметров устанавливаются различные последовательности точечных отображений. Так при

$$1 \le \alpha \le 1 + S\mu^{-1} \tag{6}$$

основной синхронный режим соответствует произведению точечных отображений $T_{221,12}$ и $T_{122,21}$, и внутри области G_{211} имеет неподвижную точку (x^*, τ^*) с координатами

$$x^* = (1 - e^{-\mu\tau^*})(\mu(1 - e^{-\mu}))^{-1},$$

$$\tau^* = \mu(\alpha - 1)S^{-1}.$$

Неподвижная точка (x^*, τ^*) устойчива в линейном приближении в области своего существования (6) на плоскости параметров α, S при значениях S, лежащих под границей N_- устойчивости [5]

$$N_-: \quad \alpha = \alpha(N_-) = 1 - S\mu^{-2} \ln[\mu(1 - e^{-\mu})S^{-1} + g(\mu)] \quad (\alpha > 1), \tag{7}$$

где

$$g(\mu) = (1 + 4e^{-\mu} - e^{-2\mu})(2(1 + e^{-\mu}))^{-1}.$$

При

$$1 - S\mu^{-1} \le \alpha \le 1 \tag{8}$$

основной синхронный режим соответствует произведению точечных отображений $T_{222,31}$ и $T_{311,12}$, и внутри области G_{222} имеет неподвижную точку (x^*, θ^*) с координатами

$$x^* = -(1 - e^{-\mu(1-\bar{\tau}^*)})(\mu(1 - e^{-\mu}))^{-1},$$

$$\theta^* = 1 - \alpha^{-1}(\bar{\tau}^* - S(1 - e^{-\mu(1-\bar{\tau}^*)})(1 - e^{-\mu\bar{\tau}^*}))(\mu^2(1 - e^{-\mu}))^{-1},$$

где

$$\bar{\tau}^* = 1 + \mu(\alpha - 1)S^{-1}.$$

Неподвижная точка (x^*, θ^*) устойчива в линейном приближении в области своего существования, определяемой неравенством (8) при значениях S, лежащих под границей N_- устойчивости, где

$$N_-: \alpha = (N_-) = 1 - S\mu^{-2} \ln[\mu(e - 1)S^{-1} + (4 + e^{-\mu} - e^{\mu})(2(1 - e^{-\mu}))^{-1}]. \tag{9}$$

При α=1 граница устойчивости (7) непрерывно переходит в границу (9), претерпевая положительный скачок наклона в сторону увеличения α.

Учет механизма диссипации (μ>0) приводит к тому, что при малых переключениях по диапазону переходные процессы являются апериодическими: при α<1 только при циклическом включении u(τ)=–1, а при α>1 – только при включении u(τ)=+1. При значительных, определяемых величиной параметра μ, переключениях α по диапазону в пределах области устойчивости, переходные процессы являются на первых этапах колебательными, а окончание процесса по-прежнему является апериодическим.

***

1. Левин В.А., Малиновский В.И., Романов С.К. Синтезаторы частот с импульсно-фазовой автоподстройкой. – М.: Радио и связь, 1989. – 232 с.
2. Шахгильдян В.В., Пестряков А.В. Перспективные направления развития динамической теории дискретных систем фазовой синхронизации для устройств синтеза и стабилизации частоты // Электросвязь, – 1993. – № 11. – С.38-42.
3. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Исследование динамики синтезатора частоты на основе использования асимптотических методов // 58-я научная сессия, посвященная дню радио. Труды. Т.2. М., 2003. – С. 89-91.
4. Косякин А.А., Шамриков Б.М. Колебания в цифровых автоматических системах. М.: Наука, 1983. – 336 с.
5. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1972. – 336 с.
6. Антоновская О.Г., Горюнов В.И., Палочкин Ю.П. К анализу механизмов синхронизации в синтезаторах частот с кусочно-постоянным характером выходного сигнала фазового детектора // 60-я научная сессия,, посвященная Дню радио. Труды. М,, 2005. – С. 360-364.

7. Антоновская О.Г., Горюнов В.И., Палочкин Ю.П. Развитие методики моделирования динамики СЧ с ИЧФД и астатизирующим фильтром // 61-я научная сессия, посвященная Дню радио. Труды. М., 2006. – С. 260-262.
8. Горюнов В. И., Ерусланов В.Н., Зайцева М.Н. К анализу быстродействия синтезатора при переключениях по диапазону // Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи. – 1986. – Вып. 3. – С. 44-49.
9. Горюнов В.И., Ерусланов В.Н., Лобашов Н.И. К анализу динамических характеристик синтезатора частоты при учете инерционности фильтра // Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи. – Вып. 3. – 1988. – С. 59-67.

Севрюгин С.Ю.

Об угловой стабилизации спускаемого космического летательного аппарата

Чистопольский филиал "Восток" Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева - КАИ (Россия, Чистополь)

doi: 10.18411/lj-07-2019-80
idsp: ljournal-07-2019-80

Аннотация

В статье рассматривается проблема синтеза разрывного управления на скользящем режиме с гарантированной терминальной инвариантностью к неопределенным возмущениям в начале координат для решения задачи угловой стабилизации спускаемого космического летательного аппарата (КЛА). Проведено сопоставление процессов при полученном разрывном управлении и линейном, оптимальным по минимуму интеграла от квадрата ошибки. Проведено численное моделирование, сделаны выводы.

Ключевые слова: скользящий режим, разрывное управление, терминальная инвариантность, неопределенные возмущения, моделирование.

Abstract

The article deals with the problem of synthesis of discontinuous control on a sliding mode with guaranteed terminal invariance to indefinite perturbations at the origin to solve the problem of angular stabilization of a descending spacecraft (CLA). A comparison was made of the processes with the obtained discontinuous control and a linear optimal with respect to the minimum of the integral of the square of the error. Numerical modeling was carried out, conclusions were made.

Keywords: sliding mode, discontinuous control, terminal invariance, indefinite perturbations, modeling.

Рассматривается космический летательный аппарат (КЛА) конусообразной формы (рис. 1), предназначенный для оперативной доставки грузов с международной космической станции (МКС). Данный КЛА имеет массу 500 кг, длину l =2,1 м, диаметр днища 0,9 м и снабжен двумя ракетными двигателями малой тяги в кормовой части с силами тяги, приложенными с двух противоположных сторон (вторая противоположная сила на рис. 1 не показана). Для совершения пространственного движения в космосе и в атмосфере КЛА снабжен двумя парами ракетных двигателей с малой силой тяги, расположенными с двух противоположных сторон в кормовой части КЛА (на рис. 1 не показаны) и обеспечивающими вращение аппарата относительно продольной оси. После гашения скорости с выходом в заданную точку над поверхностью Земли КЛА с высоты около 10 км совершает практически вертикальное падение со скоростью 100 м/с. Приземление осуществляется с помощью посадочного парашюта с высоты 1000-2000 м.

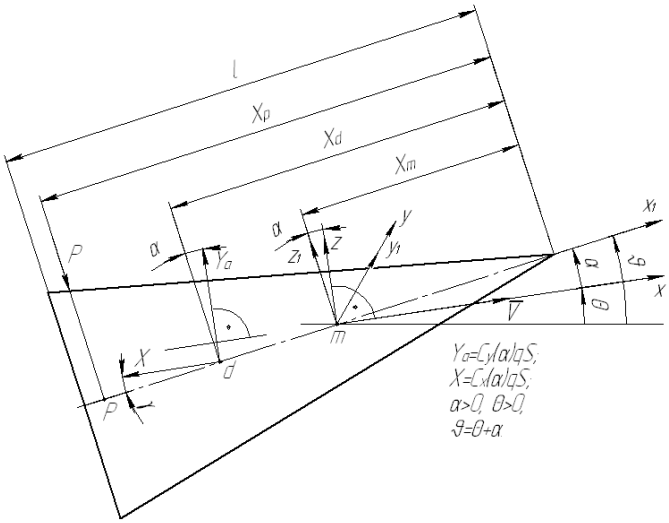

Рис. 1 Схема продольного движения КЛА

На рис. 1 представлена схема балансировочного равновесия в продольном движении КЛА, где $Ox_1y_1z_1$ – связанная с КЛА система координат, начало которой расположено в центре масс, α - угол атаки, ϑ - угол тангажа, θ - угол наклона вектора скорости $\overline{V}$ к линии местного горизонта, Y_α и X - аэродинамическая подъемная сила и сила лобового сопротивления, приложенные в центре давления d, $q = \rho V^2/2$ - скоростной напор, ρ - плотность атмосферы, S - характерная площадь КЛА (площадь миделевого сечения), P - сила реактивной управляющей тяги. Для статически устойчивого КЛА сила тяги P направлена противоположно подъёмной силе и тогда обеспечивается равенство аэродинамического и управляющего моментов), x_m, x_d, x_p - расстояния от носка КЛА до центра масс, центра давления и центра сопла управляющего двигателя соответственно. Согласно данному рисунку программное управление $u = u_{пр}(t)$ находится с учетом программной тяги $P_{пр}$, находимой согласно рис. 1 из уравнения балансировочного равновесия:

$$P_{пр}(x_p - x_m) = C_y(\alpha_{пр})qS(x_d - x_m)\cos\alpha_{пр}.$$

Система дифференциальных уравнений, описывающая продольное движение КЛА (вместе с угловым) в отклонениях от его программного движения с учетом постоянства скорости на малом промежутке времени в балансировочном равновесии может быть представлена в виде [1, 2, 4]:

$$\dot{x} = (A_0(t) + \Delta A(t))x + (b_0(t) + \Delta b(t))u + (D_0(t) + \Delta D(t))F(t), \quad (1)$$

где составляющими вектора $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T$ являются отклонения:

$$x_1 = \Delta\vartheta = \vartheta_{пр} - \vartheta, x_2 = \Delta\dot{\vartheta}, x_3 = \Delta\theta = \Delta\theta_{пр} - \theta, x_4 = \Delta H = H_{пр} - H,$$

а матрицы $A(t), b(t)$ и $D(t)$ имеют известные номинальные составляющие с индексом "0" и неопределенные составляющие с индексом "Δ".

Сила тяги P двух управляющих реактивных двигателей, прикладываемая перпендикулярно к продольной оси КЛА в точке p (рис. 1) сверху и снизу, пропорциональна управляющему стабилизирующему воздействию u.

Суммарная сила тяги P_Σ состоит из двух слагаемых: программной силы тяги $P_{пр} = k_{пр}u_{пр}$, где $u_{пр}$ - программное управление, которое определяется по программной силе тяги $P_{пр}$, находимой из приведенного уравнения балансировочного равновесия ($P_{прmax} = 950$ Н) и искомой динамической силы тяги $P = ku$, которая направляет угловое движение КЛА к программному ($P_{max} = 50$ Н).

Таким образом, система уравнений углового движения КЛА относительно центра масс (1) при постоянном векторе скорости $\overline{V}$ и при малом отклонении $\Delta\theta(t)$ угла наклона вектора скорости к линии горизонта $\theta(t)$ от программного значения $\theta_{пр}(t)$ за время переходного процесса, а также при неопределенных внешних $F_1(t)$ (ветровых и вызываемых отклонениями плотности атмосферы от стандартной величины) и

параметрических $\Delta a_{21}, \Delta a_{22}, \Delta b_2$ (вызываемых разбросом параметров КЛА от изделия к изделию) возмущениях с учетом инерционности управляющих ракетных двигателей малой тяги, обусловленной инерционностью электромагнитных клапанов расхода топлива, примет вид [1, 2, 4]:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = \Delta a_{21}x_1 + \Delta a_{22}x_2 + (1+\Delta b_2)(P_1+P_2) + F_1(t), \\ \dot{P}_1 = -\frac{P_1}{\tau} + \frac{ku_1}{\tau}, \\ \dot{P}_2 = -\frac{P_2}{\tau} + \frac{ku_2}{\tau}, \end{cases} \quad (2)$$

где $x_1 = \Delta\vartheta$ рад, $x_2 = \Delta\dot{\vartheta}$ рад/с, $|\Delta a_{21}| \le 0{,}01\ 1/c^2$, $|\Delta a_{22}| \le 0{,}01\ 1/c$, $|\Delta b_2| = |\varepsilon| < 0{,}5$ рад/с^2, $|F_1| \le 1$ рад/с^2, $\tau = 0{,}05$ с, а управления u_1, u_2 находятся по условиям переключений

$$u_1 = \begin{cases} u \text{ при } u \ge 0, \\ 0 \text{ при } u < 0, \end{cases} \quad u_2 = \begin{cases} u \text{ при } u \le 0, \\ 0 \text{ при } u > 0, \end{cases}$$

которые отражают воздействие стабилизирующего управления u на каждый из двух двигателей в отдельности для реализации их суммарной тяги $P = P_1 + P_2$.

Синтез управления проведем по методу, изложенному в [5]. Получим функции переключения в виде:

$$s = c^T x = |s_1| + |s_2|, s_1 = 2x_1 + x_2, s_2 = x_1, g = x_1, \quad (3)$$

где

$$c^T = (c^{1T}\mathrm{signs}_1 + c^{2T}\mathrm{signs}_2) = (c_1, c_2) = (2\mathrm{signs}_1 + \mathrm{signs}_2, \mathrm{signs}_1).$$

В системе управления (2) получаем разрывное управление u

$$u = u_0 + u_\Delta + u_F \quad (4)$$

со слагаемыми u_0, u_Δ, u_F вида:

$$u_0 = \begin{cases} u_0^+ = \frac{1}{c^T b_0}\left[\kappa_g^+ x_1 + \kappa_s^+ s - (2\mathrm{signs}_1 + \mathrm{signs}_2)x_2\right] \text{при } sg > 0, \\ u_0^- = \frac{1}{c^T b_0}\left[\kappa_g^- x_1 + \kappa_s^- s - (2\mathrm{signs}_1 + \mathrm{signs}_2)x_2\right] \text{при } sg \le 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $c^T b_0 = \mathrm{signs}_1, \kappa_g^+ = -1, \kappa_g^- = 1,\ \kappa_s^\pm = -5.$

$$u_\Delta = \frac{1}{c^T b_0}\sum_{i=1}^{2} \kappa_{i\Delta} x_i, \quad (6)$$

где

$$\kappa_{i\Delta} = \begin{cases} \kappa_{i\Delta}^+ < \inf\limits_{\Delta a_i, \varepsilon}\left(-\frac{\Delta a_i}{1+\varepsilon}\right) \text{ при } x_i > 0, \\ \kappa_{i\Delta}^+ > \sup\limits_{\Delta a_i, \varepsilon}\left(-\frac{\Delta a_i}{1+\varepsilon}\right) \text{ при } x_i \le 0. \end{cases}$$

С учетом ограничений и значений (5) параметров $\kappa_g^\pm, \kappa_s^\pm$ зададим следующие значения параметров $\kappa_{i\Delta}^\pm$:

$$\kappa_{1\Delta}^+ = -8{,}03, \kappa_{1\Delta}^- = 8{,}03, \kappa_{2\Delta}^+ = -8{,}03, \kappa_{1\Delta}^- = 8{,}03.$$

$$u_F = \frac{1}{c^T b_0}\kappa_{1F} = \frac{\kappa_{1F}}{\mathrm{signs}_1}, \quad (7)$$

где $\kappa_{1F} < \inf_{F_1, \mathrm{sign}, \varepsilon}\left(-\frac{F_1 \mathrm{signs}_1}{1+\varepsilon}\right)$ и учтено, что $\Delta D \equiv 0$; с учетом ограничений для $|F_1|$ и $|\varepsilon|$ задается значение $\kappa_{1F} = -2{,}01$.

Проведем сопоставление полученного разрывного управления (5), (6), (7) и линейного управления, оптимального по минимуму интеграла от квадрата ошибки [3], для системы (2) при наличии внешних возмущений и одинаковом времени переходного процесса, равном 1,6 с. Моделирование систем проведено в пакете MATLAB.

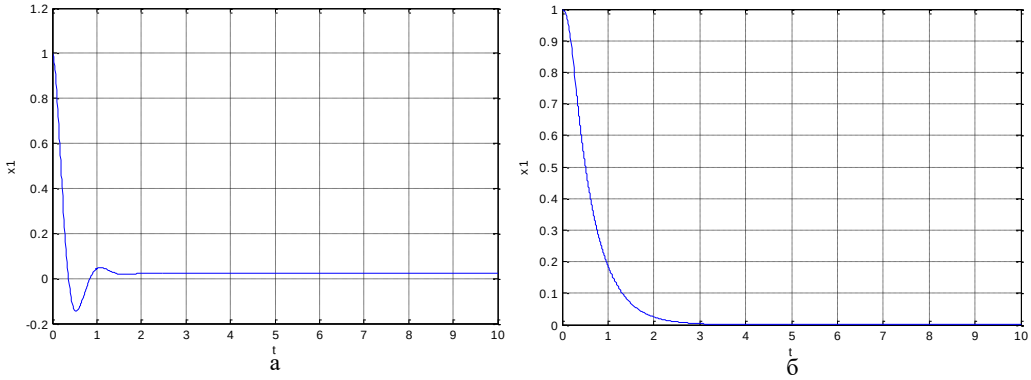

Рис. 2. Процессы управления по углу тангажа x_1: а) при линейном управлении; б) при разрывном управлении

Сопоставление процессов управления (рис. 2) показало при одинаковом времени переходного процесса следующие преимущества разрывного управления (4) в режиме скольжения по сравнению с линейным управлением, оптимальным по минимуму интеграла от квадрата ошибки [3]:

- нулевое перерегулирование по сравнению с перерегулированием в 17,34%;
- число колебаний за время переходного процесса равное нулю по сравнению с двумя;
- нулевая установившаяся ошибка по сравнению с ошибкой, равной 0,022 рад.

Таким образом, результаты моделирования системы управления КЛА с предлагаемым разрывным управлением демонстрируют требуемые прямые показатели качества. При более точной модели углового движения, получаемой без допущений относительно координат движения центра масс и с учетом соответствующих числовых данных по параметрам и по возмущениям, полученные результаты могут быть достаточно эффективно применены и в качестве бортовых алгоритмов управления.

***

1. Андреевский В.В. Динамика спуска космических аппаратов на Землю. М.: Машиностроение, 1970. 232 с.
2. Боднер В.А. Теория автоматического управления полетом. М.: Наука, 1964. 700 с.
3. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976. 184 с.
4. Лебедев А.А., Герасюта Н.Ф. Баллистика ракет. М.: Машиностроение, 1970. 244 с.
5. Мещанов А.С., Севрюгин С.Ю. Метод управления с гарантированной терминальной инвариантностью к неопределенным и номинальным возмущениям // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2010. №3. С. 196 – 203.

Тойгамбаев С.К., Евграфов В.А.

Применение статико–динамического нагружения при холодной обкатке двигателей внутреннего сгорания

РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-07-2019-81
idsp: ljournal-07-2019-81

Аннотация

В статье представлен стенд для холодной статико-динамической обкатки двигателей, позволяющей боле качественно проводить приработку деталей. Сущность модернизации стенда в разработке подвижных стоек для возможности обкатки более

широкой номенклатуры двигателей. Проведены необходимые расчеты и представлены схемы.

Ключевые слова: статико; динамик; обкатка; приработка; двигатель.

Abstract

The article presents a stand for cold static-dynamic run-in of engines, which allows more qualitative processing of children. The essence of the modernization of the stand in the development of mobile racks for the possibility of running a wider range of engines. The necessary calculations are carried out and schemes are presented.

Key words: static; speaker, running-in; burn-in; engine.

Одним из основополагающих факторов, определяющих долговечность деталей и надежную работу двигателя внутреннего сгорания (ДВС), а, следовательно, и качество их ремонта является правильно выполненная приработка, которая, как завершающая технологическая операция процесса ремонта и изготовления ДВС, частично проводится на ремонтном предприятии, а завершается в условиях эксплуатации. Обкатка тракторных ДВС осуществляется в несколько стадий. На первой стадии отремонтированные (или новые) ДВС проходят технологическую обкатку в стационарных условиях на заводах-изготовителях или ремонтных предприятиях. Продолжительность такой обкатки не превышает нескольких часов (1,5…3 ч.), однако её роль, по мнению большинства исследователей, чрезвычайно важна, так как в её процессе происходит предварительная приработка сопряжений ДВС, обеспечивающая возможность подготовить поверхности трения деталей к восприятию эксплуатационных нагрузок; выявление и устранение отказов, возникающих из-за отклонений в качестве запасных частей, в технологии ремонта деталей, сборки сопряжений и узлов ДВС, оказывающих влияние на всю его последующую работу. Технологическая обкатка ДВС осуществляется при нагрузках и скоростях, составляющих 50…100 % от номинальных значений, при этом ДВС или не достигают номинальной мощности, или работают при ней короткое время. Несоблюдение элементарных правил технологической обкатки ДВС, а также неправильное назначение режимов для данной конкретной модели ДВС могут способствовать резкому ухудшению приработки деталей, преждевременному износу, и, как следствие, снижению межремонтного ресурса ДВС.

На второй стадии производится начальная эксплуатационная обкатка ДВС в составе машин, на которых он установлен. Продолжительность начальной эксплуатационной обкатки ДВС составляет 30...60 мото. часов.

На третьей стадии проводится заключительная эксплуатационная обкатка, продолжительность которой достигает 400...600 мото. часов [1].

Целью данной разработки является повышение качества приработки и снижение первоначального износа.

Назначение, устройство и принцип действия обкаточного стенда. Стенд для холодной обкатки дизелей со статико-динамическим нагружением предназначен для холодной приработки двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Предлагаемый способ приработки поршневого двигателя внутреннего сгорания, схема процесса приработки двигателя внутреннего сгорания - рисунок 1. и чертеж установки для холодной статико-динамической обкатки двигателей представлена на рисунке 2., заключается в том, что перед этапом холодной обкатки осуществляют циклическое нагружение двигателя путем подачи рабочего тела под давлением от внешнего источника повышенного давления в неработающие цилиндры двигателя, коленчатый вал которого вращается со сверхнизкой частотой вращения, причем в качестве рабочего тела используется масло. Подача рабочего тела в цилиндры происходит при пульсирующем давлении, при этом подача рабочего тела осуществляется в цилиндр двигателя с давлением, равным максимальному давлению рабочего цикла на номинальном режиме работы ДВС данной марки. Использование импульсной подачи рабочего тела под определенным давлением в цилиндры двигателя (≈ 8 МПа) приводит к

пульсирующим ударным нагрузкам на сопряжения ДВС, что вызывает упрочнение поверхностей трения деталей, путем наклепа и исправления микро- и макрогеометрии поверхностей трения. В результате такого воздействия металл с поверхности трения не удаляется, а остается на ней, так как в результате поверхностно-пластических деформаций, возникающих под действием ударных нагрузок, возникают силы, деформирующие выступы неровностей шероховатых поверхностей трения, приложенные по нормали к поверхности трения, а не боковые, вызванные вращением одной детали относительно другой. Вращение коленчатого вала со сверхнизкой частотой вращения значительно снижает силы трения при вращении и усилие среза микронеровностей шероховатых поверхностей, что позволяет частицам металла не вырываться с поверхности трения, а лишь частично деформироваться, что способствует исправлению макро- и микрогеометрии, а также снижению приработочного износа, и как следствие увеличение эксплуатационного ресурса как отдельных деталей, так и двигателя в целом.

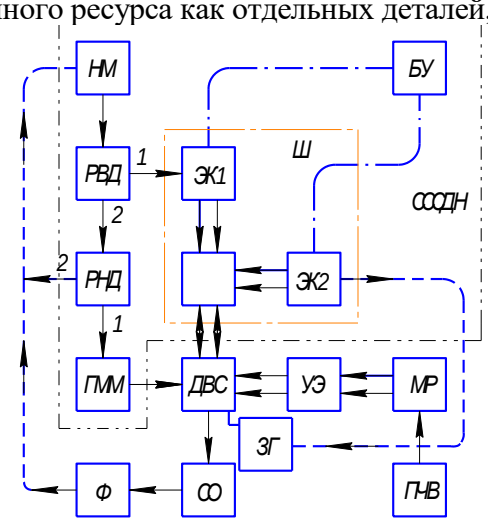

Рис. 1 Схема процесса приработки двигателя внутреннего сгорания

Предлагаемый способ холодной приработки позволит сократить время основных этапов с одновременным упрочнением поверхностей трения, а также снизить первоначальный износ. НМ - насос-мотор; МР – мотор- редуктор; Ф - фильтр; ДВС - двигатель внутреннего сгорания; БУ -блок управления; Ш – штуцер; РВД – регулятор высокого давления; РНД – регулятор низкого давления; ЭК1- нагнетательный электромагнитный клапан; ЭК2 – сбросной электромагнитный клапан; УЭ – упругий элемент; ПЧВ – преобразователь частоты вращения; Ф – фильтр; СО – сливное отверстие; СССДН – система создания статико-динамических нагрузок.

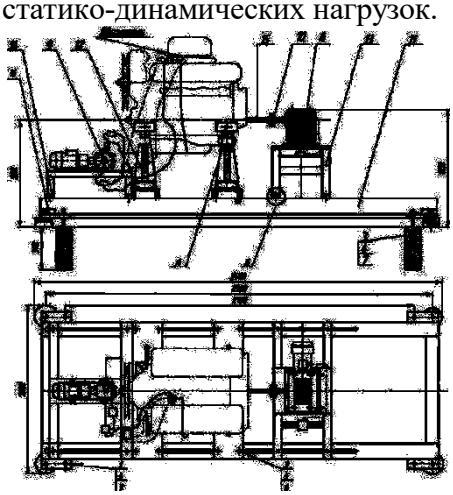

Рис. 2. Чертеж установки для холодной статико-динамической обработки двигателей. А – блок винта стойки крепления двигателя; Б – узел крепления стойки стола привода. 3; 4; 7 – стойки крепления ножек установки; 8 –мотор-редуктор МРЧ; 9 – насос-мотор НМШГ; 10-муфта; 11 –рама установки; 12 – передвижная стойка крепления двигателя; 13 – стойка стола привода установки; 14 – ножка стола привода установки; 15 – карданная передача привода; 16 – платформа крепления.

Устройство для приработки ДВС содержит: непосредственно ДВС; систему создания статико-динамической нагрузки (СССДН), включающую насос-мотор (НМ), регуляторы высокого и низкого давления (РВД и РНД), штуцер (Ш), имеющий в составе два электромагнитных клапана (ЭК1 и ЭК2), блок управления электромагнитными клапанами (БУ); механизм поворота, включающий мотор-редуктор (МР), упругий элемент (УЭ) и преобразователь частоты вращения (ПЧВ). Двигатель внутреннего сгорания маховиком через упругий элемент (УЭ) соединен с выходным валом мотор-редуктора (МР). Частота вращения вала мотор-редуктора в свою очередь контролируется с помощью преобразователя частоты вращения (ПЧВ). Механизм привода позволяет достичь сверхнизкой частоты вращения коленчатого вала двигателя. Наличие червячного мотор-редуктора (МР) позволяет исключить противовращение в механизме привода. Линия подачи рабочего тела содержит насос-мотор (НШМ-12-25-10/10), при помощи которого рабочее тело (дизельное масло М10-2Г) забирается через сливное отверстие поддона картера ДВС и через масляный фильтр подается к регулятору высокого давления (клапан марки ГА-76070), который регулирует давление масла на давление, соответствующее максимальному давлению рабочего цикла в цилиндре ДВС, и подает его к штуцеру, а также регулятору низкого давления (клапан КП 16.2.5.000), откуда рабочее тело под давлением, соответствующим давлению в системе смазки ДВС, поступает в главную масляную магистраль (для осуществления принудительной смазки деталей кривошипно-шатунного механизма), и во всасывающую полость насос-мотора. Штуцер представляет собой корпус, в котором установлены нагнетательный электромагнитный клапан (в качестве его используется двухзатворный электромагнитный клапан ЭГФ) и сбросной электромагнитный клапан (в качестве его используется гидравлически разгруженный клапан ЭГФ). Штуцер устанавливается в технологическое отверстие под форсунки. Управление работой электромагнитных клапанов осуществляется с помощью блока управления. Линия подачи и слива рабочего тела и всасывающая магистраль насос-мотора состоит из гибких рукавов высокого давления (марки Н 036.83.010-160), соединенных штуцерами. Работа стенда для холодной приработки происходит следующим образом: сначала производится прокачка системы нагружения (для удаления воздуха). С этой целью, предварительно масло заливается в необходимом объеме в поддон картера ДВС. При включении насос-мотора (НМ) масло забирается из поддона картера через сливное отверстие (СО), фильтр (Ф) и подается насос-мотором через регулятор высокого давления к штуцеру, причем при проведении прокачки сбросной электромагнитный клапан (ЭК2) находится в открытом состоянии. О завершении прокачки свидетельствует наличие однородной масляной структуры, видимой через прозрачную вставку в трубопроводе на выходе сбросного электромагнитного клапана. После завершения прокачки системы устанавливаем с помощью преобразователя необходимую частоту вращения вала мотор-редуктора (МР), соответствующую данной модели ДВС. В процессе приработки масло под давлением подается насос-мотором (НМ) к регулятору высокого давления (РВД), который распределяет масло к штуцеру (Ш) (к нагнетательному клапану) и к регулятору низкого давления (РНД). Регулятор низкого давления распределяет масло в главную масляную магистраль (ГММ) ДВС и во всасывающий трубопровод насос-мотора (НМ). При открытии электромагнитного клапана масло подается в надпоршневую полость цилиндра под давлением, соответствующим давлению такта сжатия (8…10 МПа). После подачи масла в цилиндр электромагнитный клапан закрывается и выдерживается в таком положении заданный промежуток времени, при закрытом сбросном клапане. После этого сбросной электромагнитный клапан открывается, давление в надпоршневом пространстве падает и масло через сбросной электромагнитный клапан (ЭК2) поступает в заливную горловину ДВС. При этом в периоды времени, когда происходит нагружение в цилиндре двигателя, рабочее тело, воздействуя на поршень с пульсирующим давлением, создает пульсирующую ударную нагрузку, в результате коленчатый вал двигателя пытается повернуться в обратную направлению вращения сторону, а в периоды разгрузки эластичная муфта будет компенсировать данный угол поворота.

Воздействуя на поршень, рабочее тело с пульсирующим давлением создает пульсирующую ударную нагрузку на сопряжения двигателя, производя упрочнение поверхностей трения путем наклепа, в результате которого происходит сглаживание поверхностей трения и выравнивание макро- и микрогеометрии сопряжений без потери металла. Все это значительно позволяет снизить начальный (приработочный) износ и увеличить срок службы, как отдельных сопряжений, так и всего двигателя в целом. Состояние приработонности поршневой группы может быть определено по величинам давлений в конце сжатия при 600 мин$^{-1}$ и температуре масла двигателя 75…80 °С. Давление определяют компрессометром. Состояние подшипников характеризуется, прежде всего, величиной давления масла.

Выбор электродвигателя для привода коленчатого вала ДВС.

Мощность на коленчатом валу двигателя $P_{кв}$, Вт:

$$P_{кв} = T_{кв} \cdot \omega_в, \tag{1}$$

где $T_{кв}$ – вращающий момент на ведущем валу, $T_{кв} = 680$ Н·м;

$\omega_{кв}$ – угловая скорость вала, с$^{-1}$.

$$\omega_{кв} = \frac{\pi \cdot n_в}{30}, \tag{2}$$

где $n_в$ - частота вращения вала, мин$^{-1}$; $n_в = 0,56$ мин$^{-1}$,

$$\omega_в = \frac{3,14 \cdot 0,56}{30} = 0,06$$ с$^{-1}$, тогда Ркв = 680 · 0,06 = 40,8 Вт.

Частота вращения вала мотор-редуктора $n_м$, мин$^{-1}$ [2]:

$$n_м = n_в \cdot u, \tag{3}$$

где u – – передаточное отношение червячного редуктора; принимаем $u = 80$;;

$$n_м = 0,56 \cdot 80 = 45 \text{ мин}^{-1}.$$

Вращающие моменты на валу мотор-редуктора, Н·м [2]:

$$T_м = \frac{T_в}{u \cdot \eta_{ч.р.} \cdot \eta_{п.м.}}, \tag{4}$$

где $\eta_{ч.р.}$ – коэффициент полезного действия червячного редуктора, принимаем [2]: ; $\eta_{ч.р.} = 0,7$; $\eta_{п.м.}$ – коэффициент полезного действия предохранительной муфты, принимаем [2]: $\eta_{п.м.} = 0,98$.

$$T_м = \frac{680}{80 \cdot 0,7 \cdot 0,98} = 12,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

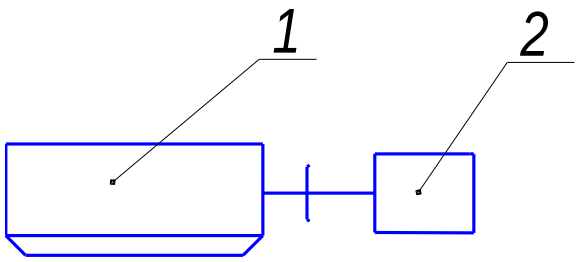

Рис. 3 Кинематическая схема механизма привода коленчатого вала ДВС. 1 – червячный редуктор; 2– двигатель

Потребляемая мощность электродвигателя мотор-редуктора, Вт [2]:

$$P_м = \frac{Pкв}{\eta_{ч.р.} \cdot \eta_{п.м.}}, \qquad (5)$$

$$P_м = \frac{40,2}{0,7 \cdot 0,98} = 58,3 \text{ Вт.}$$

С учетом пусковых нагрузок мощность может быть увеличена в 3…4 раза.

Так как частота вращения вала электродвигателя низкая, принимаем серийно изготавливаемый мотор-редуктор 1МПз2-31,5 с частотой вращения выходного вала $n_в = 45$ мин$^{-1}$ [2].

Расчет резьбы стойки стенда. Назначаем материалы для винта – сталь 20 и гайки – сталь 20. Примем квадратную однозаходную правую резьбу. Для определения среднего диаметра резьбы винта и гайки d2 из расчёта резьбы на износостойкость примем отношение высоты гайки к среднему диаметру резьбы

k = H /d2 =1,6 и допускаемое давление для резьбы $[q] = 10$ МПа. Вес двигателя ЯМЗ-236 составляет 820 кг. Так как конструкцией стенда предусмотрены четыре стойки под двигатель, то нагрузка на одну стойку будет составлять: F = 2,05 кН. Расчетная схема стойки представлена на рисунке 3.

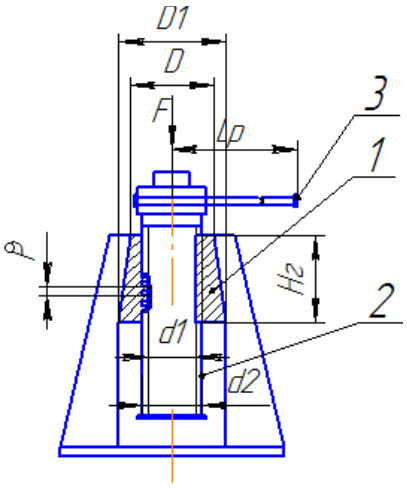

Рис. 4 Расчетная схема стойки. 1- гайка; 2 – винт; 3 – рукоятка

Из условия на сопротивление изнашиванию определяем средний диаметр резьбы [3]:

$$d2 = \sqrt{2F / (\pi k [q])}. \qquad (6)$$

$$d2 = \sqrt{2F / (\pi k [q])} = \sqrt{2 \cdot 2,05 \cdot 10^3 / (3,14 \cdot 1,6 \cdot 10 \cdot 10^6)} = 17 \text{мм.}$$

Геометрические размеры.

Высота профиля резьбы [3]:

$$h = 0,1 \cdot d2 \qquad (7)$$

$$h = 0,1 \cdot d2 = 0,1 \cdot 17 = 1,7 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр резьбы [3]:

$$d = d2 + h, \qquad (8)$$

$$d = d2 + h = 17 + 1,7 = 18,7 \text{ мм.}$$

Внутренний диаметр резьбы [3]:

$$d1 = d2 – h, \qquad (9)$$

$$d1 = d2 – h = 17 - 1,7 = 15,3 \text{мм.}$$

Шаг резьбы [3]:

$$P = 2 \cdot h, \qquad (10)$$

$$P = 2 \cdot h = 2 \cdot 1,7 = 3,4 \text{ мм.}$$

Ход резьбы Ph (число заходов резьбы n = 1):

$$Ph = n \cdot P, \quad (11)$$

$$Ph = n \cdot P = 1 \cdot 3{,}4 = 3{,}4 \text{ мм.}$$

Угол подъема резьбы [3]:

$$\text{tg}\,\varphi = P_h / (\pi d_2), \quad (12)$$

$$\text{tg}\,\varphi = P_h / (\pi d_2) = 3{,}4/(3{,}14 \cdot 17) = 0{,}064,$$

следовательно, угол подъёма резьбы $\varphi = 3040'$.

Коэффициент трения стали по стали при слабой смазке примем f = 0,1. Значит, $\text{tg}\psi = f = 0{,}1$ и угол трения $\varphi = 5^0\ 50,$. Условие самоторможения винта обеспечено, так как $\psi \langle \varphi$ ($3^0 40' < 5^0 50'$).

Проверим винт на прочность. Крутящий момент в опасных поперечных сечениях винта домкрата (на участке от гайки до рукоятки) [3]

$$T = 0{,}5 \cdot d_2 \cdot F \cdot \text{tg}\,(\psi + \varphi), \quad (13)$$

$$T = 0{,}5 \cdot 0{,}017 \cdot 2050 \cdot 0{,}17 = 2{,}96 \text{ Н·м.}$$

Для стали 20 предел текучести по ГОСТ 1050-80 $\sigma_T = 250$ МПа. Допускаемое напряжение на сжатие для винта [3]:

$$[\sigma_C] = \sigma_T / 3, \quad (14)$$

$$[\sigma_C] = \sigma_T / 3 = 250/3 = 83{,}3 \text{ МПа.}$$

Эквивалентное напряжение [3]:

$$\sigma_{ЭКВ} = \sqrt{\left[4F / \left(\pi d_1^2\right)\right]^2 + 4\left[T / \left(0{,}2 d_1^3\right)\right]^2}, \quad (15)$$

$$\sigma_{ЭКВ} = \sqrt{\left[4 \cdot 2{,}05 \cdot 10^3 / (3{,}14 \cdot 15{,}3^2)\right]^2 + 4\left[2{,}96 \cdot 10^3 / (0.2 \cdot 15{,}3^3)\right]^2} = 49{,}8 \text{ МПа.}$$

$$49{,}8 \text{ МПа} < 83{,}3 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma_{ЭКВ}] < [\sigma_C], \quad (16)$$

т.е. прочность винта даже выше требуемой.

Коэффициент приведения длины винта $\mu = 2$, так как винт можно считать стойкой с нижним защемлённым концом. Приведённый момент инерции площади сечения винта [3]:

$$I = (\pi \cdot d_1^4 / 64)(0{,}4 + 0{,}6 \cdot d / d_1), \quad (17)$$

$$I = (\pi \cdot d_1^4 / 64)(0{,}4 + 0{,}6 \cdot d / d_1) = (3{,}14 \cdot 15{,}3^4 / 64) + (0{,}4 + 0{,}6 \cdot 18{,}7/15{,}3) = 2{,}69 \cdot 10^3 \text{ мм}^4$$

Радиус инерции площади сечения винта [3]:

$$i = \sqrt{I / A_1}, \quad (18)$$

$$i = \sqrt{I / A_1} = \sqrt{4 \cdot I / \left(\pi \cdot d_1^2\right)} = \sqrt{4 \cdot 2{,}89 \cdot 10^3 / (3{,}14 \cdot 15{,}3^2)} = 3{,}9 \text{ мм.}$$

Гибкость винта λ определяем по формуле [3]: $\lambda = \mu L / i = 2 \cdot 200 / 3{,}9 = 102$.

Критическая сила:

$$F_{кр} = \pi 2\ E \cdot I\ (\mu \cdot l) 2, \quad (19)$$

(рассматриваем винт как стержень с одним жёстко закреплённым и другим свободным концом); Fкр= 3,142·2,1·105·2,69·103/(2·200)2 = 34,8 кН.

Допускаемая сила [3]:

$$[F] = F_{кр} / S_y, \quad (20)$$

где [S y] - коэффициент запаса устойчивости $[S_y] = 2{,}5$ [3].

$$[F] = 34{,}8 / 2{,}5 = 13{,}92 \text{ кН.}$$

Устойчивость винта обеспечена, так как сила, действующая на одну стойку, F = 2,05 кН меньше допускаемой $[F] = 13{,}92$ кН.

Перейдём к расчёту гайки. Примем допускаемые напряжения гайки на растяжение и смятие $\left[\sigma_p\right]=\left[\sigma_{см}\right]=40$ МПа, на срез $\left[\tau_c\right]=22,5$ МПа.

Высота гайки [3]: k·d2 = 1,6 · 17 = 27,2 мм.

Наружный диаметр гайки [3]:

$$D=\sqrt{4F/(\pi\left[\sigma_p\right])}+d^2, \qquad (21)$$

$$D=\sqrt{4\cdot 2,05\cdot 10^3/\left(3,14\cdot 40\right)+17^2}=8,4 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фланца гайки [3]:

$$D_1=\sqrt{4\cdot 2,05\cdot/\left(3,14\cdot 40\right)+8,4^2}=12,3 \text{ мм.}$$

Толщина фланца [3]: $\delta=F/\left(\pi D\left[\tau_c\right]\right)=$ 2,05 ·10^3/(3,14·8,4·22,5) = 1,5 мм.

Гидравлический расчет: ***Расчет трубопроводов***. Для всех линий используются гибкие армированные двухоплеточные трубопроводы по ГОСТ 8737-77. Соединение трубопроводов с гидроаппаратурой осуществляется штуцерами.

Из уравнения непрерывности потока жидкости, внутренний диаметр трубопровода определяется [4]:

$$d=1,13\sqrt{\frac{Q_H}{V}}, \qquad (22)$$

где QH = 190·10-6 м3/с – величина потока жидкости через трубопровод;
V - скорость потока жидкости, м/с.

Скорость потока жидкости принимается: - для всасывающего трубопровода V = 1 м/с; - для сливного трубопровода V = 2 м/с; - для напорного трубопровода V = 4 м/с.

Тогда диаметр трубопроводов, м:

– всасывающего; $d_{BC}=1,13\sqrt{\frac{Q_H}{V}}=1,13\sqrt{\frac{190\cdot 10^{-6}}{1}}=15,57\cdot 10^{-3}$м;

– сливного; $d_{BC}=1,13\sqrt{\frac{Q_H}{V}}=1,13\sqrt{\frac{190\cdot 10^{-6}}{2}}=11,18\cdot 10^{-3}$м;

– напорного; $d_{BC}=1,13\sqrt{\frac{Q_H}{V}}=1,13\sqrt{\frac{190\cdot 10^{-6}}{4}}=8,79\cdot 10^{-3}$м;

В соответствии с ГОСТ 16516-80 выбираем стандартные диаметры трубопроводов [4]. Внутренний диаметр: dн = 10 мм, dс = 12 мм, dв = 16 мм.

Наружный диаметр трубопровода: dн = 22 мм, dс = 25мм, dв = 29 мм.

Тогда действительные скорости потока жидкости [4]:

$$V=1,13^2\frac{Q_H}{d^2}, \qquad (23)$$

– в напорном трубопроводе; $V_H=1,13^2\frac{Q_H}{d^2}=1,13^2\frac{190\cdot 10^{-6}}{10^2}=2,43$ м/с;

– в сливном трубопроводе; $V_C=1,13^2\frac{Q_H}{d^2}=1,13^2\frac{190\cdot 10^{-6}}{12^2}=1,69$ м/с;

– во всасывающем; $V_{вс}=1,13^2\frac{Q_H}{d^2}=1,13^2\frac{190\cdot 10^{-6}}{16^2}=0,95$ м/с.

Расчет потерь давления во всасывающем трубопроводе. Для исключения кавитации необходимо иметь давление в конце всасывающего трубопровода не меньше 0,06 МПа. Это давление определяется из уравнения Бернулли [4]

$$P_B=P_O+\rho\cdot g\cdot h-\frac{\rho\cdot V^2}{2}-\left(1+\zeta\cdot b+\frac{\lambda\cdot l}{d}\right), \qquad (24)$$

где Po = 101,325 – атмосферное давление, кПа; ρ = 890 – плотность жидкости, кг/м3; g = 9,81 – ускорение свободного падения, м/с2; h = 0,14 – высота всасывания, м; V = Vвс = 0,95 – скорость потока жидкости, м/с; ξ = 1,45 – суммарный коэффициент местных сопротивлений; b – поправочный коэффициент, учитывающий влияние вязкости жидкости на местные потери; λ – коэффициент трения жидкости о стенки трубопровода; l = 0,32 – длина всасывающего трубопровода; d=0,016 м – диаметр трубопровода, м.

Коэффициент трения жидкости о стенки трубопровода зависит от числа Рейнольдса, которое определяет режим сечения жидкости:

$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu}, \tag{25}$$

где ν = 50·10-6 – кинематическая вязкость жидкости, м2/с.

тогда $\mathrm{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{0{,}95 \cdot 0{,}016}{50 \cdot 10^{-5}} = 304$.

Поток ламинарный, т.к. Re = 304 < 2200.

Тогда коэффициент трения $\lambda = \frac{75}{\mathrm{Re}} = \frac{75}{304} = 0{,}247.$

По графику определяем поправочный коэффициент b = 3 [4]. Давление во всасывающем трубопроводе:

$$P_B = 101323 + 890 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}14 - \frac{890 \cdot 0{,}9}{2} \cdot \left(1 + 1{,}45 \cdot 3 + \frac{0{,}259 \cdot 0{,}32}{0{,}016}\right) = 98328 \text{ Па} \approx 0{,}1 \text{ МПа}.$$

PB = 0,1 МПа удовлетворяет заданному выше условию.

Расчет потерь давления в напорной и сливной гидролиниях. Общие путевые потери определяются по формуле:

$$\sum \Delta P_п = \Delta P_{пн} + \Delta P_{пс}, \tag{26}$$

где ΔPпн, ΔPпс – путевые потери в напорной и сливной гидролиниях, находим по формуле [4].

$$\Delta P_{пн} = \lambda_н \cdot \rho \frac{l_н \cdot V_н^2}{d_н \cdot 2}, \tag{27}$$

$$\Delta P_{пс} = \lambda_с \cdot \rho \frac{l_с \cdot V_с^2}{d_с \cdot 2}. \tag{28}$$

Из предыдущих расчетов определяем Re:

– в напорной; $\mathrm{Re}_н = \frac{V_н \cdot d_н}{\nu} = \frac{2{,}43 \cdot 0{,}01}{50 \cdot 10^{-6}} = 486,$

– в сливной; $\mathrm{Re}_с = \frac{V_с \cdot d_с}{\nu} = \frac{1{,}69 \cdot 0{,}012}{50 \cdot 10^{-6}} = 405{,}6.$

Тогда коэффициент трения жидкости о стенки:

– в напорной; $\mathrm{Re}_н = \frac{V_н \cdot d_н}{\nu} = \frac{2{,}43 \cdot 0{,}01}{50 \cdot 10^{-6}} = 486,$

– в сливной $\lambda = \frac{75}{\mathrm{Re}_с} = \frac{75}{405{,}6} = 0{,}185.$

Общие путевые потери:

$$\sum \Delta P_н = \Delta P_{пн} + \Delta P_{пс} = 0{,}154 \cdot 890 \cdot \frac{1{,}6 \cdot 2{,}43^2}{2 \cdot 0{,}01} + 0{,}185 \cdot 890 \cdot \frac{1{,}28 \cdot 1{,}69^2}{2 \cdot 0{,}012} = 89925 \text{ Па} \approx 89{,}9 \text{ кПа}.$$

Местные потери давления находим из выражения [4]:

$$\sum \Delta P_м = \Delta P_{мн} + \Delta P_{мс} = \xi_н \cdot b_н \cdot \rho \cdot \frac{V_н^2}{2} + \xi_с \cdot b_с \cdot \rho \cdot \frac{V_с^2}{2}, \tag{29}$$

где ΔPмн, ΔPмс – местные потери в напорной и сливной гидролиниях;

ξн = 7 – кэффициент местных сопротивлений в напорной гидролинии;
ξс = 5,8 – коэффициент местных сопротивлений в сливной гидролинии;
bн = 1,8; bс=1,9.

Общие местные потери [4]:

$$\sum \Delta P_{МН} = \Delta P_{МН} + \Delta P_{МС} a, \tag{30}$$

$$\sum \Delta P_{МН} = \Delta P_{МН} + \Delta P_{МС} = 7 \cdot 1{,}8 \cdot 890 \cdot \frac{2{,}43^2}{2} + 5{,}8 \cdot 1{,}9 \cdot 890 \cdot \frac{1{,}69^2}{2} = 47{,}2 \text{ кПа}.$$

Общие потери давления в гидросистеме [4]:

$$\sum \Delta P_М = \sum \Delta P_Н + \sum \Delta P_М = 89{,}9 + 47{,}2 = 137 \text{ кПа}.$$

Общие потери давления не превышают 10 % давления, создаваемого насосом (10 МПа).

Вывод. Применение существующих технологий и способов обкатки двигателей не позволяет обеспечить достаточной эффективности приработки, снижения износа поверхностей трения в начальный период, равномерной приработки в цилиндрах двигателя, исключения областей схватывания металла из-за неправильности макро- и микрогеометрии. Поэтому для повышения эффективности обкатки автотракторных двигателей внутреннего сгорания предлагается обкатка со статико-динамическим нагружением, позволяющая частично устранить вышеперечисленные недостатки. Для реализации технологии обкатки двигателей со статико-динамическим нагружением разработан стенд для холодной обкатки, проведены технологические и прочностные расчеты стенда.

Conclusion. The use of existing technologies and methods of engine running does not allow to provide sufficient burn-in efficiency, reduce the wear of friction surfaces in the initial period, uniform burn-in in the engine cylinders, exclude areas of metal setting due to the irregularity of macro-and microgeometry. Therefore, to improve the efficiency of running-in of automotive internal combustion engines, it is proposed to run-in with static-dynamic loading, which allows to partially eliminate the above disadvantages. To implement the technology of running-in of engines with static-dynamic loading, a stand for cold running was developed, technological and strength calculations of the stand were carried out.

***

1. Погорелый И. П. Обкатка и испытание тракторных и автомобильных двигателей / И. П. Погорелый. – М.: Колос, 2003. – 208 с.
2. Ерохин М. Н. Проектирование и расчет подъемно-транспортных машин сельского назначения / М. Н. Ерохин, А. В. Карп, Н. А. Выскребенцев и др., под ред. М. Н. Ерохин, А.В. Карп. – М.: Колос 1999. – 228 с.
3. Решетов Д. И. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных вузов/ Д. И. Решетов.-4-е изд. перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 2001-496с.
4. Исаев А. П. Гидравлика и гидромеханизация сельского хозяйства. / А. П. Исаев, Б. И. Сергеев; В.А. Дидур. – Москва ВО «Агропромиздат» 2000.- 399с.
5. Тойгамбаев С.К., Шнырев А.П., Голиницкий П.В. Метрология. Стандартизация. Сертификация. Учебник для ВУЗов. М.: Изд. Спутник+, 2017–375с.
6. Тойгамбаев С.К., Голиницкий П.В. Измерение и контроль деталей транс-портных и транспортно-технологических комплексов. Учебное пособие. М.: Изд. Спутник +, 2018. – 153с.
7. Тойгамбаев С.К. « Применение инструментальных материалов при резании металлов ». Учебник для ВУЗов. М.: Ред. Изд. Отдел МГУП, 2007 -206с.
8. Тогамбаев С.К., Голиницкий П.В. Размерный анализ бронзовых подшипников скольжения при обжатии//Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2013. № 2. С. 58-60.
9. Голиницкий П. В., Вергазова Ю. Г., Антонова У. Ю. Разработка процедуры управления внутренней документацией для промышленного предприятия//Компетентность. 2018. № 7 (158). С. 20-25.

Тойгамбаев С.К.

Передвижная установка для ремонта ступиц колес тракторов и автомобилей

РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-07-2019-82
idsp: ljournal-07-2019-82

Аннотация

В статье представлена разработанная тележка для снятия и установки ступиц колес тракторов и автомобилей при их техническом обслуживании и ремонте, что позволяет качественно и в сжатые сроки провести монтаж и демонтаж ступиц, устранить обнаруженные неисправности и произвести замену или ремонт.

Ключевые слова: тележка; трактор; автомобиль; ступица.

Abstract

The article presents the developed trolley for removal and installation of wheel hubs of tractors and cars in their technical service and repair, which allows high quality and in a short time to carry out the installation and dismantling of hubs, to eliminate the detected faults and make a change or repair.

Key words: truck; tractor; car; hub.

Обоснование конструкторской разработки. При эксплуатации тракторов и автомобилей особое значение имеет исправность тормозной системы. От ее надежности работы зависит безаварийное эксплуатирование транспорта. Состояние тормозной системы контролируют при проведении как ТО-1, так и ТО-2. Кроме того, через одно ТО-2 дополнительно к операциям технического обслуживания обязательно производится снятие ступиц передних и задних колес в сборе с тормозными барабанами, очистка всех видов деталей и проверка состояния фрикционных накладок, стяжных пружин, тормозных цилиндров и подшипниковых ступиц. При необходимости производится замена пружин, манжетов цилиндров, замена накладок, различная регулировка тормозов: полная, частичная; расточка тормозных барабанов. Для выполнения операций по снятию и установки тормозных барабанов в сборе со ступицей приходится привлекать не менее двух рабочих, так как снять, а тем более установить ступицу в сборе с тормозным барабаном одному рабочему невозможно. При снятии составных частей, сборочных единиц и деталей, связанных с большими затратами физических усилий или неудобствами в работе, следует применять приспособление, обеспечивающее легкость и безопасность выполняемых работ. С этой целью в данной работе предлагается разработка конструкции тележки для снятия, транспортировки и установки тормозных барабанов в сборе со ступицей для автомобилей.

Описание устройства и принцип работы конструкции. Тележка для снятия, установки и транспортировки ступиц в сборе с тормозным барабаном представлена на листе графического материала и состоит из: рамы, сварной конструкции; двух гидроцилиндров; гидронасоса; платформы; двух опор, которые служат для укладки ступиц; двух передних колес и одного заднего заправляемого колеса. К общей раме приварены рукоятки с поперечиной для транспортировки тележки. Опоры имеют возможность регулироваться по высоте в пределах 130 мм, что необходимо для центрирования ступицы с осью поворотной цапфы при её установке. Принципиальная схема тележки для снятия и установки ступиц представлена на рисунке 1. Подъем и опускание платформы осуществляется за счет давления масла, создаваемого гидронасосом, и гидроцилиндрами, закрепленными на раме тележки. Для фиксирования ступицы колеса на раме предусмотрены две фиксирующие опоры, предотвращающие падение ступицы с тележки. Передние колеса смонтированы на двух осях, прикрученных к накладкам рамы гайками. Заднее колесо конструктивно выполнено управляемым. Оно смонтировано на поворотном пальце, который посредством упорного подшипника

крепится к кронштейну, приваренному к раме. Конструкция работает следующим образом. Вывешивается передняя часть автомобиля, отворачиваются гайки крепления ступицы к оси.

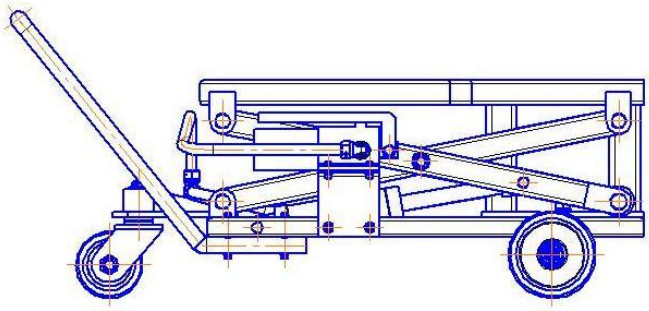

Рис. 1 Тележка для снятия и установки ступиц

Под ступицу подкатывается тележка. Механизмом подъема подводим опоры под наружную часть ступицы автомобиля. Ступицы в сборе с тормозным барабаном снимаются с оси вручную или с помощью съемников. Далее ступицу подвергают ремонту непосредственно на площадке или транспортируют в мастерскую, где производят необходимый ремонт. При установке ступицы её предварительно центрируют механизмом подъема и установочной осью и после этого накатывают на тележке на ось поворотной цапфы. После установки ступицы на место тележка убирается, предварительно опустив опоры. Далее осуществляются операции по креплению ступицы на оси цапфы.

Расчет основных узлов и деталей разработанной конструкции

Расчет механизма подъема. Усилие на шток определяется из уравнения моментов относительно точки крепления [1]:

$$F_ш = \frac{G_г \cdot L + G_c \cdot b}{c \cdot n} = \frac{0,073 \cdot 0,78 + 0,058 \cdot 0,0365}{0,018 \cdot 2} = 1,64 \text{ кН}, \quad (1)$$

где $G_г$ = 0,073 – масса груза (ступица автомобиля КамАЗ в сборе с тормозным барабаном), т; G_c = 0,058 – суммарная масса подъемной и подвижных платформ, т; L =0,78 –длина подвижной платформы в сложенном состоянии, м; b – расстояние от места крепления подвижной платформы к раме до центра тяжести, м; c – расстояние от места крепления подвижной платформы к раме до места крепления штока гидроцилиндра, м; n - количество гидроцилиндров, шт.

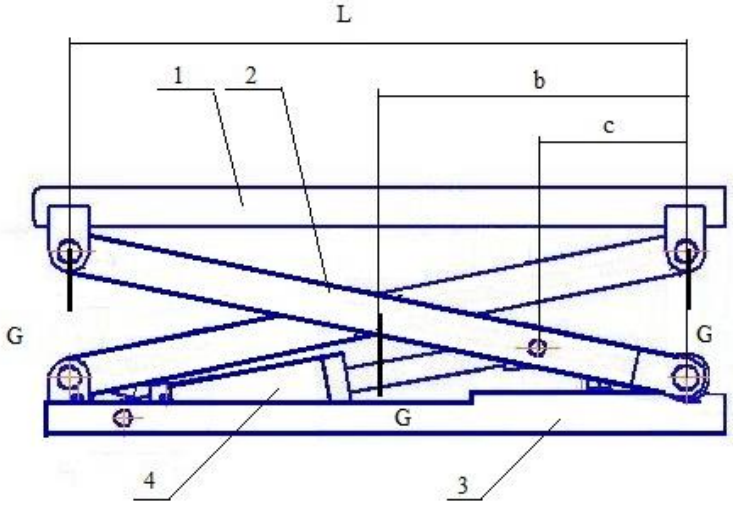

Рис. 2 Механизм подъема тележки. 1- платформа подъемная; 2- платформа подвижная; 3- рама; 4- гидроцилиндр

Условие прочности подвижной платформы на прямой поперечный изгиб имеет вид [2]:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{X\max}}{W_X} \le [\sigma], \tag{2}$$

где MXmax – наибольший изгибающий момент, Н·м; WX – момент сопротивления сечения подвижной платформы при изгибе, м3; [σ] = 160 – допустимое напряжение на изгиб подвижной платформы, изготовленной из конструкционной стали, МПа.

$$M_{X\max} = F_{ш} \cdot L - c = 1640 \cdot 0{,}78 - 0{,}18 = 984 \text{ Н·м}. \tag{3}$$

$$W_X = M_{X\max} / [\sigma] = 984/160 \cdot 10^6 = 6{,}15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 6{,}15 \text{ см}^3.$$

По табличным значениям [10] для изготовления подвижной опоры выбираем трубу прямоугольную со сторонами равными 40 х 60 мм, толщиной стенки 4 мм, площадью сечения 7,17 см2, моментом сопротивления 11,5 см3, ГОСТ 8645-97. Определяем напряжение подвижной платформы в месте крепления гидроцилиндра:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{X\max}}{W_X} = \frac{1640}{11{,}5 \cdot 10^{-6}} = 143 \text{ МПа}.$$

Проверим условие прочности из условия, что $\sigma_{\max} \langle \lfloor \sigma \rfloor$: 143 *МПа* ⟨ 160 *МПа*

Условие выполняется.

Рассчитаем диаметр пальцев, необходимых для закрепления гидроцилиндра к раме и подвижной платформе. Материал пальца - сталь 35.

Требуемый диаметр пальца $d_п$ определяют по формуле [1, 2]:

$$d_П \ge \sqrt[3]{\frac{M_u}{0{,}1[G_u]}}, \tag{4}$$

где Ми – момент изгибающий; $[G_и]$ = 200 МПа = 200 Н/мм2 – допускаемые напряжения при изгибе.

$$M_u = P \cdot h, \tag{5}$$

где P = Fш – сила, с которой шток действует на палец (P = 1640 Н); h = 56 мм – плечо (расстояние от рамы до центра пальца).

$$d_п \ge \sqrt[3]{\frac{1640 \cdot 56}{0{,}1 \cdot 200}} = 16{,}6 \text{ мм}.$$

Принимаем dп = 16,6 мм.

Расчет оси переднего колеса. Упрощенно ось переднего колеса можно представить как балку, жестко закрепленную с одной стороны и с приложенной к ней силой Q, распределенной нагрузкой, равной 1/4 веса тележки без колес, полностью груженой.

$$Q = 0{,}25 \cdot (0{,}52 + 11 + 4{,}6 + 5{,}5 + 10{,}4 + 1{,}56 + 4{,}5 + 0{,}58 + 2{,}45 + 10 + 100) = 0{,}25 \cdot 151 = 37{,}75 \text{ кг} = 378 \text{ Н}.$$

Рассчитываем эпюру изгибающих моментов справа (±)

$0 \le \times \le 0{,}069$; M = Q · X; Mo = 0; M0,069 = 378·0,069 = 26,1 Н·м.

Определяем диаметр оси в опасном сечении:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_u}{0{,}1[G_u]}}, \tag{6}$$

где $[G_u]$ - допускаемое напряжение на изгиб, для не вращающейся оси, $[G_u]$ = 157 МПа.

$$d = \sqrt[3]{\frac{26{,}1}{0{,}1 \cdot 157}} = 0{,}012 \text{ м} = 12 \text{ мм}.$$

Исходя из конструктивных соображений, с целью универсальности тележки при перевозке грузов различной тяжести (до 2000 Н), принимаем диаметр оси равным 25 мм, а в опасном сечении - 36 мм.

Проверяем ось диаметром 25 мм на срез:

$$\tau_c = \frac{F}{Z(\pi \cdot d^2 / 4)} \le [\tau_c], \quad (7)$$

где τс - расчетное напряжение на срез; F - сила, действующая перпендикулярно оси, F = 378 Н; Z - количество плоскостей среза, Z = 1; d - диаметр оси, d = 0,025 м; [τс] - допускаемое напряжение на срез [τс] = 35 МПа.

$$\tau_c = \frac{378}{1(3{,}14 \cdot 0{,}025^2 / 4)} = 7{,}7 \text{ МПа}$$

., тогда 7,7 МПа < 35 Мпа.

Условие выполняется, т.е. прочность оси при срезе выше требуемой.

Расчет оси заднего колеса. Упрощенно ось заднего колеса можно представить как балку, жестко закрепленную с двух сторон и приложенной силой Р по середине балки. Р = 0,5·151 = 75,5 кг = 755 Н.

Определяем диаметр оси в опасном сечении:

$$d = \sqrt[3]{\frac{23{,}4}{0{,}1 \cdot 157}} = 0{,}011 \text{ м} = 11 \text{ мм}.$$

Исходя из конструктивных соображений с целью универсальности тележки при перевозке грузов различной тяжести (до 2000 Н) принимаем больший диаметр и равный 25 мм.

Расчет на прочность сварного шва. Наиболее нагружен сварной шов, который крепит кронштейн заднего колеса к нижней балке. Этот шов угловой, комбинированный. Произведем его проверочный расчет.

$$\tau'_c = \frac{F}{0{,}7 \cdot R \cdot (l_1 + 2 \cdot l_2)} \le [\tau'_c], \quad (8)$$

где τ'с - расчетное напряжение среза в шве; ℓ1, ℓ2 - соответственно длина длинного и короткого швов, м; R - катет поперечного сечения шва, в данном случае R = 0,004 м. [τ'с] - допустимое напряжение на срез шва.

$$\tau'_c = \frac{755}{0{,}7 \cdot 0{,}004 \cdot (0{,}1 + 2 \cdot 0{,}04)} = 1{,}5 \text{ МПа}.$$

$$[\tau'_c] = 0{,}6\ [\sigma_p] \quad (9)$$

Для стали 3 [σр] = 70 МПа.

$[\tau'_c]$ = 0,6 70 = 42 МПа.

τ'_c = 1,5 МПа < $[\tau'_c]$ = 42 МПа - условие выполняется, т. е. прочность шва выше требуемой.

Определение подачи насоса и параметров гидравлической системы. Зная значение силы, приложенной к штоку гидроцилиндра, и рабочее давление гидроцилиндра (Fш = 1,64 кН), находим площадь поперечного сечения гидроцилиндра (рабочее давление 3,3 МПа).

$$S_ц = \frac{F}{P} = \frac{1{,}64 \cdot 10^3}{3{,}3 \cdot 10^6} \cdot 10^2 = 497 \text{ мм}^2 = 4{,}97 \text{ см}^2. \quad (10)$$

тогда диаметр гидроцилиндра составит:

$$D_ц = \sqrt{\frac{4S_ц}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 497}{3{,}14}} = 2{,}5 \text{ см}. \quad (11)$$

Согласно табличным данным [1,2], диаметр гидроцилиндра принимаем DП=40 мм.

Тогда площадь гидроцилиндра составит:

$$S_ц = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 1256 \text{ мм}^2 = 12,56 \text{ см}^2. \quad (12)$$

Диаметр штока равен:

$$d_ш = 0,5 \cdot \text{DП} = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ мм}. \quad (13)$$

Площадь штока равна:

$$S_ш = \frac{\pi \cdot d_ш^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} = 314 \text{ мм}^2 = 3,14 \text{ см}^2. \quad (14)$$

Подача насоса определяется из условия перемещения подъемной платформы на высоту до 890 мм за 15 с. Таким образом, подача насоса должна составлять:

$$G = V / t, \quad (15)$$

где V –объем заполняемой полости, м3; t – время заполнения полости, мин.

$$G = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4 \cdot t}, \quad (16)$$

где D – диаметр гидроцилиндра, D = 40 мм; L – ход штока, L = 250 мм.

$$G = \frac{3,14 \cdot 40^2 \cdot 250}{4 \cdot 15} = 20933 \text{ мм}^3/\text{с} = 20,93 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Для выбранного гидроцилиндра марки ГЦ 40.20х250.11 подбираем ручной гидронасос DPA-3.5 с объемом гидробака 3500 см3 со следующими характеристиками:

- полезный объем бака 3000 см3; – масса 11,5 кг.;
- производительность за один ход 31 см3.

Минимальный внутренний диаметр трубопровода для жидкости определяется по формуле [1]:

$$d_p = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[v]}}, \quad (17)$$

где Q – расчётный объёмный расход жидкости в трубопроводе, см3/с;
v – допускаемая скорость движения жидкости, см/с.

Допускаемая скорость движения жидкости в нагнетательном трубопроводе гидропривода выбирается по нормативным данным [1], в зависимости от расчётного перепада давления P на исполнительном органе привода (v =30 см/с).

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 20,93}{3,14 \cdot 30}} = 0,94 \text{ см} = 9,4 \text{ мм}.$$

Согласно расчётам выбираем армированный шланг с внутренним диаметром 10 мм.

Выводы

1. На основании проведенного обзора существующих конструкций тележек для перевозки грузов предложена конструкция гидравлической тележки для снятия и установки ступиц колес, позволяющая снять и установить ступицу колеса в сборе одному человеку без существенных затрат физической силы.
2. Произведен расчет гидравлической системы тележки, подобраны соответствующие элементы гидравлической системы, а также рассчитаны элементы конструкции гидравлической тележки для снятия и установки ступиц колес.

Summary

1. On the basis of the review of the existing structures of TV-ZHEK for transportation of goods the design of the hydraulic cart for removal and installation of wheel hubs, allowing to remove and install the wheel hub Assembly to one person without significant costs of physical force.

2. The calculation of the hydraulic system of the trolley is made, the corresponding elements of the hydraulic system are selected, and the elements of the design of the hydraulic trolley for removing and installing the wheel hubs are calculated.

***

1. Ерохин М.Н., Карп А.В. и др. Проектирование и расчет подъемно-транспортирующих машин сельскохозяйственного назначения / М.Н.Ерохин, А.В.Карп, Н.А. Выскребенцев и др.- М.: Колос, 1999.- 228 с.
2. Бабусенко С.М. Проектирование ремонтно-обслуживающих предприятий. – М.: Агропромиздат, 1990. – 352 с.
3. Черноиванов В.И., Горячев С.А., Голубев И.Г. Техническое обслуживание, ремонт и обновление сельскохозяйственной техники в современных условиях. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. − 148 с.
4. Тойгамбаев С.К. Применение инструментальных материалов при резании металлов. Учебное пособие для ВУЗов./ -М.: РИО МГУП, 2007, -214с.
5. Тойгамбаев С.К., Шнырев А.П., Голиницкий П.В. Метрология. Стандартизация. Сертификация. Учебник для ВУЗов. М.: Изд. Спутник+, 2017–375с.
6. Тогамбаев С.К., Голиницкий П.В. Размерный анализ бронзовых подшип-ников скольжения при обжатии//Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Го-рячкина». 2013. № 2. С. 58-60.
7. Голиницкий П. В., Вергазова Ю. Г., Антонова У. Ю. Разработка процедуры управления внутренней документацией для промышленного предприятия//Компетентность. 2018. № 7 (158). С. 20-25.
8. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Расчет затрат на контроль технологических процессов ремонтного производства // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2004. № 5. С. 75-77.
9. Леонов О.А. Теоретические основы расчета допусков посадок при ремонте сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2010. № 2. С. 106-110.

Тойгамбаев С.К., Евграфов В.А.

Проектировка участка технического обслуживания машинно-тракторного парка в ООО «Карасукский» Костанайской области

РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-07-2019-83
idsp: ljournal-07-2019-83

Аннотация

В статье представлена разработанная схема технического обслуживания и диагностирования МТП, что позволяет качественно и в сжатые сроки провести диагностику и ТО техники, устранить обнаруженные неисправности и дать оценку о дальнейшей пригодности машины к эксплуатации

Ключевые слова: техническое обслуживание; техническая готовность; трактор; автомобиль; техническая эксплуатация.

Abstract

The article presents the developed scheme of technical maintenance and diagnosis of MTP, which allows you to qualitatively and in a short time to diagnose and THEN equipment, to eliminate the detected irregularities and to assess the further suitability of the machine for operation

Keywords: maintenance; technical readiness; tractor; car; maintenance.

Техническое обслуживание МТП, а также устранение возникающих в процессе эксплуатации неисправностей, связанных с разборкой узлов и агрегатов, должны проводиться в мастерской или в пункте технического обслуживания на специально оборудованном для этого рабочем месте. Только в этом случае можно обеспечить необходимое качество выполнения работ при наименьших материальных и трудовых затратах. В данной статье не предоставлены расчеты по периодичности, трудоемкости

технического обслуживания, которые были рассчитаны, а приводятся более значимые моменты расчетов по определению участка ТО и ремонта машин.

Скорректированные значения периодичности ТО и ремонтов для автомобилей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Скорректированные значения периодичности ТО и пробега до КР

Марка базового автомобиля	Периодичность ТО и КР, км		
	ТО-1	ТО-2	КР
КамАЗ	2800	11200	215600
ЗИЛ	2800	11200	126000
ГАЗ	2800	11200	109200
УАЗ	3600	14400	126000
КАВЗ	3200	13000	224000
ГАЗ (легк.)	9000	18000	270000

Скорректированные значения значения трудоемкости ЕТО, ТО-1, ТО-2, Д-1, Д-2, ТР, СО, чел.-ч. для автомобилей приведены в таблице 2.

Таблица 2

Скорректированные значения трудоемкости ЕТО, ТО-1, ТО-2, Д-1, Д-2, ТР, СО, чел.-ч

Марка автомобиля	Трудоемкость, чел.-ч.						
	ЕТО	ТО-1	ТО-2	Д-1	Д-2	ТР	СО
КамАЗ	0,17	6,6	24,8	0,6	1,7	5,7*	15,1
ЗИЛ	0,12	4,1	16,5	0,4	1,2	3,9*	3,3
ГАЗ	0,1	3,5	13,8	0,3	1	3,4*	2,8
УАЗ	0,07	2,1	8,3	0,2	0,6	1,8*	1,7
КАВЗ	0,41	10,7	35	1	2,5	10,6*	7
ГАЗ (легк.)	0,09	3,9	15,5	0,4	1,1	2,4*	3,1

* - *трудоемкость ремонта на 1000 км.*

Определение коэффициента технической готовности автомобилей. Коэффициент уровня технической готовности (КУТГ) определяется по формуле:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + L_{cc}\left(\frac{d_{TO\ и\ TP}}{1000} + \frac{d_{KP}}{L_{KP}^{cp}}\right)}, \qquad (1)$$

где Lcc – среднесуточный пробег, км; dТО и ТР – скорректированное значение продолжительности простоя подвижного состава в ТО и ремонте, дн./1000км, вычисляется по формуле:

$$d_{\text{ТО и ТР}} = d^{\text{н}}_{\text{ТО и ТР}} \cdot K'_{4(cp)}, \qquad (2)$$

где $d^{\text{н}}_{\text{ТО и ТР}}$ – нормативное значение продолжительности простоя подвижного состава в ТО и ремонте, дн./1000км (определяется по [2]) $d^{\text{н}}_{\text{ТО и ТР}}$ = 0,53дн / 1000км; $K'_{4(cp)}$ – среднее значение коэффициента корректирования нормативной продолжительности простоя в ТО и ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации, высчитывается по формуле:

$$K'_{4(cp)} = \frac{A_1 \cdot K'_{4(1)} + A_2 \cdot K'_{4(2)} + \ldots + A_n \cdot K'_{4(n)}}{A_1 + A_2 + \ldots + A_n} \qquad (3)$$

где $K'_{4(1)}, K'_{4(2)}, K'_{4(n)}$ – величины коэффициентов корректирования соответствующей группы; А1, А2, Аn – количество автомобилей по группам с одинаковым пробегом.

$K'_{4(cp)} = \frac{1 \cdot 1{,}3 + 1 \cdot 1{,}3 + 3 \cdot 1{,}3}{5} = 1{,}3$, отсюда: $d_{\text{ТО и ТР}} = 0{,}53 \cdot \cdot 1{,}3 = 0{,}69$ дн/1000км ;

$d_{кр}$ – продолжительность простоя подвижного состава в капитальном ремонте, дней; $L_{КР}^{ср}$ – средневзвешенную величину пробега автомобилей до капитального ремонта вычисляют по формуле:

$$L_{КР}^{ср} = L_{КР}\left(1 - \frac{0,2 \cdot A_{КР}}{А}\right), \quad (4)$$

где Lкр – скорректированное значение пробега автомобилей до КР, км; Акр – количество автомобилей, прошедших капитальный ремонт, ед.; А – списочное количество автомобилей, ед.

$$K_{КР}^{ср} = 215600\left(1 - \frac{0,2 \cdot 1}{5}\right) = 206976$$, тогда $$\alpha_T = \frac{1}{1 + 200\left(\frac{0,69}{1000} + \frac{22}{206976}\right)} = 0,86$$.

Расчет произведен по автомобилям марки КамАЗ, для остальных марок грузовых автомобилей расчет производится аналогично. Полученные значения заносим в таблицу 3.

Таблица 3

Скорректированные значения коэффициента уровня технической готовности (КУТГ)

Марка базового автомобиля	Коэффициент уровня технической готовности
КамАЗ	0,86
ЗИЛ	0,85
ГАЗ	0,85
УАЗ	0,87
КАВЗ	0,88
ГАЗ (легк.)	0,87

Определение коэффициента использования автомобилей. Коэффициент использования автомобилей $\alpha_и$ вычисляется по формуле:

$$\alpha_и = \frac{Д_{р.г}}{365} \cdot \alpha_Т \cdot К_и, \quad (5)$$

где Др.г – количество рабочих дней в году, дн.; αт – коэффициент технической готовности парка; Ки – коэффициент, учитывающий снижение использования технически исправных автомобилей по эксплуатационным причинам (принимают в пределах 0,93…0,97), Ки = 0,95.

Полученные данные заносим в таблицу 4.

Таблица 4

Скорректированные значения коэффициента использования автомобилей

Марка базового автомобиля	Коэффициент использования автомобилей
КамАЗ	0,68
ЗИЛ	0,67
ГАЗ	0,67
УАЗ	0,69
КАВЗ	0,7
ГАЗ (легк.)	0,69

Определение годовой программы технического обслуживания автомобилей.

Количество ЕТО за год $N_{ETO}^{Г}$, вычисляют по формуле [2]:

$$N_{ETO}^{Г} = \sum_{i=1}^{i=k} n_{pi}, \quad (6)$$

где n_{pi} – число рабочих дней i-го автомобиля; k – число автомобилей данной марки.

На примере автомобилей марки КамАЗ, количество ЕТО за год составляет

$$N_{ETO}^{Г} = 138 + 230 + 199 = 567$$

Количество устранений мелких неисправностей и ремонтов (УМР) за год $N^{Г}_{УМР}$, обслуживаний, вычисляют по формуле:

$$N^{Г}_{УМР} = (0{,}75...0{,}8) \cdot N^{Г}_{ЕТО}. \quad (7)$$

Для автомобилей марки КамАЗ количество УРМ составляет

$$N^{Г}_{УМР} = 0{,}8 \cdot 567 = 453{,}6 \approx 454.$$

Количество ТО-2 за год $N^{Г}_{2}$ определяют по формуле:

$$N^{Г}_{2} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} L_{Гi}}{L^{c}_{2}}, \quad (8)$$

Ё

где $L_{Гi}$ – годовой пробег i-го автомобиля данной марки, км.

Количество ТО-2 за год для автомобилей марки КамАЗ составляет

$$N^{Г}_{2} = \frac{116500}{11200} \approx 10.$$

Количество ТО-1 за год $N^{Г}_{1}$ вычисляют по формуле:

$$N^{Г}_{1} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} L_{Гi}}{L^{c}_{1}} - N^{Г}_{2}. \quad (9)$$

Количество ТО-1 за год для автомобилей марки КамАЗ составляет

$$N^{Г}_{1} = \frac{116500}{2800} - 17 \approx 31.$$

Количество общего диагностирования за год $N^{Г}_{Д-1}$ обслуживаний определяют по формуле:

$$N^{Г}_{Д-1} = 1{,}1 \cdot N^{Г}_{1}. \quad (10)$$

Для автомобилей марки КамАЗ $N^{Г}_{Д-1}$ составляет:

$$N^{Г}_{Д-1} = 1{,}1 \cdot 31 \approx 34.$$

Количество поэлементного диагностирования за год $N^{Г}_{Д-2}$ воздействий вычисляют по формуле:

$$N^{Г}_{Д-2} = 1{,}2 \cdot N^{Г}_{2}. \quad (11)$$

Для автомобилей марки КамАЗ $N^{Г}_{Д-1}$ составляет:

$$N^{Г}_{Д-2} = 1{,}2 \cdot 10 \approx 12.$$

Количество сезонных обслуживаний за год $N^{Г}_{СО}$, обслуживаний, вычисляют по формуле:

$$N^{Г}_{СО} = 2 \cdot A, \quad (12)$$

где А – общее списочное количество автомобилей определенной марки, шт.

Количество сезонных обслуживаний автомобилей КамАЗ за год составляет

$$N^{Г}_{СО} = 2 \cdot 3 = 6.$$

Полученные данные заносим в таблицу 5.

Определение трудоемкости технического обслуживания автомобилей.

Годовую трудоемкость $T^{Г}_{ЕТО}$ определяют по формуле:

$$T^{Г}_{ЕТО} = t_{ЕТО} \cdot N^{Г}_{ЕТО}, \quad (13)$$

где $t_{ЕО}$ – трудоемкость одного ЕТО, чел. – ч. (табл. 2).

Годовая трудоемкость ЕТО автомобилей марки КамАЗ составляет

$T^{Г}_{ЕТО} = 0,17 \cdot 567 = 96,39 \approx 96$ чел.-ч.

Годовая трудоемкость ТО-1 определяется по формуле:

$$T^{Г}_{1} = t_1 \cdot N^{Г}_{1} + T^{Г}_{сп.р(1)}, \quad (14)$$

где t_1 – трудоемкость одного ТО-1, чел.-ч. (табл. 2); $T^{Г}_{сп.р(1)}$ – трудоемкость сопутствующего ремонта при проведении ремонта ТО-1, чел.-ч., вычисляют по формуле:

$$T^{Г}_{сп.р(1)} = C_{тр1} \cdot t_1 \cdot N^{Г}_{1}, \quad (15)$$

где $C_{тр1}$ = 0,15…0,2 – регламентированная доля сопутствующего ремонта при проведении ТО-1 [1].

Таблица 5

Годовая программа по техническому обслуживанию автомобилей

Наименование показателя	**Марка базового автомобиля**					
	КамАЗ	**ЗИЛ**	**ГАЗ**	**УАЗ**	**КАВЗ**	**ГАЗ 3110**
Количество ЕТО, обслуживаний за год	567	579	2558	474	311	451
Количество УМР	454	463	2127	279	249	361
Количество ТО-2, обслуживаний за год	10	10	46	7	5	5
Количество ТО-1, обслуживаний за год	31	31	143	20	14	6
Количество диагностирования Д-2, воздействий за год	12	12	55	8	6	6
Количество диагностирования Д-1, воздействий за год	34	34	171	24	15	7
Количество сезонных обслуживаний, обслуживаний за год	6	6	34	6	2	4

Для автомобилей марки КамАЗ готовая трудоемкость ТО-1 составляет

$T^{Г}_{1} = 6,6 \cdot 31 + 0,2 \cdot 6,6 \cdot 31 = 245,52 \approx 246$ чел.-ч.

Годовая трудоемкость ТО-2 $T^{Г}_{2}$, определяют по формуле:

$$T^{Г}_{2} = t_2 \cdot N^{Г}_{2} + T^{Г}_{сп.р(2)}, \quad (16)$$

где t_2 –трудоемкость одного ТО-2, чел.-ч.; $N^{Г}_{2}$ – годовая программа ТО-2, обслуживаний; $T^{Г}_{сп.р(2)}$, – трудоемкость сопутствующего ремонта при ТО-2, чел-ч

$$T^{Г}_{сп.р(2)} = C_{тр2} \cdot t_2 \cdot N^{Г}_{2}, \quad (17)$$

где $C_{тр2}$ = 0,15…0,2 – регламентированная доля сопутствующего ремонта при проведении ТО-2 [1].

Для автомобилей марки КамАЗ готовая трудоемкость ТО-2 составляет

$T^{Г}_{2} = 24,8 \cdot 10 + 0,2 \cdot 24,8 \cdot 10 = 297,6 \approx 298$ чел.-ч.

Годовые трудоемкости общего $T^{Г}_{Д-1}$ и поэлементного $T^{Г}_{Д-2}$ диагностирования определяют по формулам:

$$T^{Г}_{Д-1} = t_{Д-1} \cdot N^{Г}_{Д-1}; \quad (18)$$

$$T^{Г}_{Д-2} = t_{Д-2} \cdot N^{Г}_{Д-2}. \quad (19)$$

где $t_{Д-1}$, $t_{Д-2}$– трудоемкости одного воздействия Д-1, Д-2, чел.-ч.

Полученные данные расчетов заносим в таблицу 6.

Таблица 6

Общая годовая трудоемкость технического обслуживания автомобилей

Трудоемкость обслуживания и ремонта, чел.-ч.	Марка автомобиля					
	КамАЗ	ЗИЛ	ГАЗ	УАЗ	КАВЗ	ГАЗ (легк)
ЕТО	96	69	256	33	128	41
ТО-1	246	153	601	50	180	28
ТО-2	298	198	762	70	210	93
Д-1	20	14	51	5	9	3
Д-2	20	14	55	5	10	7
СО	91	20	95	10	14	12
Суммарная годовая трудоемкость технического обслуживания						3967

Годовые трудоемкости общего и поэлементного диагностирования для автомобилей КамАЗ составляет:

$$T^{Г}_{Д-1} = 0,6 \cdot 34 \approx 20 \text{ чел.-ч.}; \quad T^{Г}_{Д-2} = 1,7 \cdot 12 = 20 \text{ чел.-ч.}$$

Годовую трудоемкость сезонного обслуживания $T^{Г}_{СО}$, определяют по формуле:

$$T^{Г}_{СО} = t_{СО} \cdot A, \tag{20}$$

где $t_{СО}$ – трудоемкость одного сезонного обслуживания, чел.-ч.

Для автомобилей марки КамАЗ годовая трудоемкость сезонного обслуживания составляет:

$$T^{Г}_{СО} = 15,1 \cdot 6 \approx 91 \text{ чел.-ч.}$$

Общая годовая трудоемкость технического обслуживания автомобилей определяется по формуле:

$$\sum T^{Г} = T^{Г}_{ЕТО} + T^{Г}_{1} + T^{Г}_{2} + T^{Г}_{Д-1} + T^{Г}_{Д-2} + T^{Г}_{СО}. \tag{21}$$

$$\sum T^{Г} = 96 + 246 + 298 + 20 + 20 + 91 = 771 \text{ чел.-ч.}$$

Определение годовой программы технического обслуживания тракторов.

Для определения объёма ремонтно-обслуживающих работ используют несколько методов расчёта в зависимости от того, для проектирования какого уровня ремонтно-обслуживающей базы этот объём требуется выявить. Основой всех методов расчёта служат среднегодовая наработка, периодичность проведения ремонтно-обслуживающих воздействий с учётом почвенно-климатических условий работы и ресурс различных видов машин и оборудования. Число капитальных ремонтов определяют по формуле [2]:

$$N_K = \frac{B_Г \cdot n_M}{A_K} \cdot K_З \cdot \eta, \tag{22}$$

где ВГ – планируемая среднегодовая наработка одного трактора, усл.эт.га; n_M – количество тракторов конкретной марки в хозяйстве, шт.; A_K – периодичность проведения капитального ремонта, усл.эт.га; $K_З$ – зональный поправочный коэффициент ($K_З$=1,07, [1]); η – коэффициент, учитывающий списание машин и различие наработки до КР новой и отремонтированной машин. Для тракторов η = 0,85…0,90.

Произведём расчёт количества капитальных ремонтов для тракторов МТЗ-80/82:

$$N_K^{МТЗ-80/82} = \frac{895,7 \cdot 12}{5220} \cdot 1,07 \cdot 0,9 = 1,98.$$

Число плановых текущих ремонтов определяют по формуле [1]:

$$N_{Т.ПЛ}^{МТЗ-80/82} = \frac{B_Г \cdot n_M}{A_T} \cdot K_З \cdot \eta - N_K, \tag{23}$$

где A_T – периодичность проведения планового текущего ремонта, усл.эт.га.

Произведём расчёт количества плановых текущих ремонтов для тракторов МТЗ-80/82:

$$N_{Т.ПЛ.}^{МТЗ-80/82} = \frac{895,7 \cdot 12}{1740} \cdot 1,07 \cdot 0,9 - 2 = 3,94.$$

Принимаем 4 плановых текущих ремонтов.

Число технических обслуживаний № 3 определяют по формуле [2]:

$$N_{ТО-3} = \frac{B_Г \cdot n_М}{A_{ТО-3}} \cdot K_З \cdot \eta - N_К - N_{Т.ПЛ.}, \quad (24)$$

где $A_{ТО-3}$ – периодичность проведения ТО-3, усл.эт.га.

Таблица 7

Исходные данные для расчёта количества ТО и ремонтов тракторов

№	Марка	Количество	План. годовая наработка на 1 трактор, усл. эт. га	Периодичность ТО и ремонта, усл.эт.га				
				КР	ТР	ТО-3	ТО-2	ТО-1
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	МТЗ-80/82	12	895,7	5220	1740	870	435	108,8
2	ДТ-75М	10	638,1	7680	2560	1280	640	160
3	ДТ-175	1	320,6	11400	3800	1900	950	237,5
4	Т-150К	1	1151,3	12000	4000	2000	1000	250
5	ВТ-100	1	720,6	9240	3080	1540	770	192,5
6	К-701	3	1556,7	19380	6460	3230	1615	403,8
7	Т-70С	9	1673,1	6300	2100	1050	525	131,3
8	Т-40	1	388,1	3720	1240	620	310	77,5

Произведём расчёт количества технических обслуживаний № 3 для тракторов МТЗ-80/82:

$$N_{ТО-3}^{МТЗ-80/82} = \frac{895,7 \cdot 12}{870} \cdot 1,07 \cdot 0,9 - 2 - 4 = 5,9.$$

Число номерных технических обслуживаний № 2 определяют по формуле:

$$N_{ТО-2} = \frac{B_Г \cdot n_М}{A_{ТО-2}} \cdot K_З \cdot \eta - N_К - N_{Т.ПЛ.} - N_{ТО-3}, \quad (25)$$

где $A_{ТО-2}$ – периодичность проведения ТО-2, усл.эт.га.

Произведём расчёт количества технических обслуживаний № 2 для тракторов МТЗ-80/82:

$$N_{ТО-2}^{МТЗ-80/82} = \frac{895,7 \cdot 12}{435} \cdot 1,07 \cdot 0,9 - 2 - 4 - 6 = 11,8.$$

Число номерных технических обслуживаний № 1 определяют по формуле:

$$N_{ТО-1} = \frac{B_Г \cdot n_М}{A_{ТО-1}} \cdot K_З \cdot \eta - N_К - N_{Т.ПЛ.} - N_{ТО-3} - N_{ТО-2}, \quad (26)$$

где $A_{ТО-1}$ – периодичность проведения ТО-1, усл.эт.га.

Произведём расчёт количества технических обслуживаний № 1 для тракторов МТЗ-80/82:

$$N_{ТО-1}^{МТЗ-80/82} = \frac{895,7 \cdot 12}{108,8} \cdot 1,07 \cdot 0,9 - 2 - 4 - 6 - 12 = 73,06.$$

Сезонные технические обслуживания планируем по два каждому трактору (по одному в апреле и по одному в октябре). Результаты расчётов количества ТО и ремонтов сведём в таблицу 8. В результате расчётов получили суммарное количество ТО-3 – 16 шт., ТО-2 – 34 шт., ТО-1 – 210 шт., СО – 76 шт.

Определение трудоёмкости технического обслуживания тракторов. Трудоёмкость технического обслуживания тракторов принимаем согласно [2].

Перемножая нормативную трудоемкость технических обслуживаний и их количество получаем трудоемкость технических обслуживаний каждой отдельной марки трактора, результаты расчетов заносим в таблицу 9.

Таблица 8

Число технических обслуживаний и ремонтов тракторов

№	Марка трактора	Количество тракторов	Количество воздействий					
			КР	ТР	ТО-3	ТО-2	ТО-1	СО
1	МТЗ-80/82	12	2	4	6	12	74	24
2	ДТ-75М	10	0	2	2	5	30	20
3	ДТ-175	1	0	0	0	0	1	2
4	Т-150К	1	0	0	0	1	3	2
5	ВТ-100	1	0	0	0	0	3	2
6	К-701	3	0	0	1	1	9	6
7	Т-70С	9	2	5	7	14	86	18
8	Т-40	1	0	0	0	1	4	2

В результате расчётов получили суммарную трудоёмкость технического обслуживания для тракторов: ТО-1 – 412,9 чел-ч., ТО-2 – 231,7 чел-ч., ТО-3 – 380 чел-ч., СО – 1273,6 чел-ч. Суммарная трудоемкость технических обслуживаний всех видов тракторов хозяйства составляет 2298,2 чел.-ч.

Таблица 9

Суммарная трудоёмкость технического обслуживания тракторов

№	Марка трактора	Количество тракторов	Трудоемкость технического обслуживания, чел-ч.			
			ТО-3	ТО-2	ТО-1	СО
1	2	3	4	5	6	7
1	МТЗ-80/82	12	132	92,4	155,4	264
2	ДТ-75М	10	52	52	90	550
3	ДТ-175	1	0	0	3,2	55
4	Т-150К	1	0	5,2	3	14,6
5	ВТ-100	1	0	0	9,6	55
6	К-701	3	21	8,7	22,5	165
7	Т-70С	9	175	65,8	120,4	126
8	Т-40	1	0	7,6	8,8	44

Суммарная трудоемкость технического обслуживания МТП определяется из выражения:

$$\Sigma T_{TO} = T_{TO(АВТ)} + T_{TO(ТРАКТ)}$$

где $T_{TO(АВТ)}$ – трудоемкость технического обслуживания автомобилей, чел.-ч.; $T_{TO(ТРАКТ)}$ – трудоемкость технического обслуживания тракторов, чел.-ч.

$$\Sigma T_{TO} = 3967 + 2298{,}2 = 6265{,}2 \text{ чел.-ч.}$$

Определение количества рабочих, занятых проведением технического обслуживания. При расчете количества рабочих различают технологически необходимое (явочное) и штатное (списочное) число рабочих.

Общее технологически необходимое (явочное) количество рабочих определяется по формуле:

$$P_Я = \frac{\sum T_{TO}}{\Phi_{PM}}, \tag{27}$$

где Φ_{PM} – годовой производственный фонд времени рабочего места (номинальный), ч.

$$\Phi_{PM} = (d_к - d_в - d_п)\, t_{см} - (d_{пв} + d_{пп}), \tag{28}$$

где $d_к$ – количество календарных дней в году; $d_в$ – количество выходных дней в году; $d_п$ – количество праздничных дней в году; $d_{пв}$ – количество предвыходных дней в году; $d_{пп}$ – количество предпраздничных дней в году.

$$\Phi_{PM} = (365 - 52 - 9)\ 7 - (53 + 7) = 2070 \text{ ч.},\ P_Я = \frac{6265{,}2}{2070} = 3{,}03 \text{ чел.}$$

Принимаем 3 человека.

Общее штатное (списочное) количество рабочих определяется по формуле:

$$P_{ШТ} = \frac{\sum T_{ТО}}{Ф_{РВ}}, \quad (29)$$

где $Ф_{РВ}$ – годовой производственный фонд рабочего времени штатного рабочего, т.е. с учетом отпуска и невыхода на работу по уважительным причинам, ч.

$$Ф_{РВ} = [(d_к – d_в – d_п – d_о) \cdot t_{см} – (d_{пв} + d_{пп})] \cdot \eta_п, \quad (30)$$

где $d_о$ – количество дней отпуска рабочего в году, do = 24 дня; $\eta_п$ – коэффициент, учитывающий потери рабочего времени по уважительным причинам, $\eta_п$ = 0,96.

$Ф_{РВ}$ = [(365 – 52 – 12 – 28) · 7 – 5 · 1)] · 0,97 = 1848,8 ч. $P_{ШТ} = \frac{6265,2}{1848,8} = 3,4$ чел.

Оставляем принятое количество рабочих, занятых проведением технического обслуживания (3 человека).

Определение количества постов технического обслуживания. Количество постов определяется по формуле:

$$m = \frac{T_{УЧ}}{Ф_{ДО} \cdot P_{СР}}, \quad (31)$$

где $T_{УЧ}$ – трудоёмкость по участку или рабочему месту, чел-ч.; $Ф_{ДО}$ – действительный фонд времени оборудования, ч.; $P_{СР}$ – средняя плотность работы, чел. $P_{СР}$ = 1,2…1,5 чел.

Количество постов технического обслуживания:

$$m_{ТР} = \frac{6265}{1848,8 \cdot 1,5} = 2,2.$$

Принимаем два поста технического обслуживания машинно-тракторного парка.

Определение площади участка технического обслуживания.

Подбор технологического оборудования. В таблице 10 приведен перечень минимально необходимого оборудования, приборов, приспособлений, инструмента и инвентаря, которым оснащают участок технического обслуживания. В зависимости от объема работ количество указанного в перечне оборудования, приборов, приспособлений и инструмента должно постоянно уточняться. В целях совершенствования организации технического обслуживания необходимо доукомплектовать существующий участок оборудованием, позволяющим сократить трудоемкость технического обслуживания. Спецификация оборудования и инструментов для участка технического обслуживания МТП приведена в таблице 10.

Площадь участка технического обслуживания машинно-тракторного парка определяют по формуле:

$$F_{ТО} = (\sum F_{МТП} + \Sigma F_О) \cdot K_i, \quad (32)$$

где FД – площадь автомобилей и тракторов одновременно проходящих ТО на данном участке, м^2.

Расчет будем проводить исходя из занимаемой площади трактором марки К-701 и автомобиля КамАЗ 5320.:

$$F_{КамАЗ} = 2,5 \cdot 8,5 = 21,25 \text{ м}^2$$
$$F_{К\text{-}701} = 2,8 \cdot 7,4 = 20,72 \text{ м}^2:$$
$$\Sigma FМТП = 21,25 + 20,72 = 41,97 \text{ м}^2.$$

где $\Sigma F_О$ – суммарная площадь, занимаемая оборудованием для проведения технического обслуживания. $\Sigma F_О$ = 14,71 м2.; К – коэффициент, учитывающий рабочие зоны и проходы (для участка технического обслуживания К = 3…3,5).

$$F_{ТО} = (41,97 + 14,71) \cdot 3,0 = 170,4 \text{ м}^2.$$

Принимаем площадь участка технического обслуживания 180 м2 с габаритами 12х15 метров.

Таблица 10

Спецификация оборудования и инструментов для участка технического обслуживания МТП

Наименование	Модель	Кол-во	Габаритные размеры, мм	Площадь, м2	Мощность, кВт
1. Кран-балка 3,2 тонны	КБ-3,2	1	5100	-	1,7
2. Тележка гидравлическая для снятия, установки и перевозки колес	PL701	1	1020х930	0,95	-
3.Диагностический стенд для тракторов	КИ-4935-ГОСНИТИ	1	5825х169	0,98	55
4. Установка для смазки и заправки	03-4967	1	2500х850	2,1	1,1
5. Электромеханический солидолонагнетатель	НИИАТ-390	1	860х380	0,26	0,6
6. Бак для тормозной жидкости	326 ГАРО	1	294х270	0,8	-
7. Тележка инструментальная с набором инструментов	70-7878-1004	2	660х450	0,6	-
8. Маслораздаточный бак	133-1 ГАРО	1	285х420	0,12	-
9. Компрессор воздушный	К-22 ГАРО	1	600х1350	0,81	7,5
10. Установка для промывки смазочной системы	ОМ-2871Б	1	1500х830	1,25	3
11. Гайковерт пневматический	ПГУ – 16/550	1	310х400	0,12	-
12. Контейнер для мусора	-	2	650х500	0,33	-
13. Тележка для снятия и установки ступиц колес	-	1	900х830	0,75	-
14. Верстак слесарный	ОРГ 1468	1	2400х800	1,92	
15. Домкрат подкатной гидравлический	5Т-С. 5 тонн	1	1700х465	0,79	-
16. Стойка (грузоподъемность 5 тонн)	С101305	2	300х300	0,09	-
Комплект оснастки мастера-наладчика ОРГ-4999-ГОСНИТИ					
17. Верстак.	ОРГ-4968-ГОСНИТИ	1	1360х950	1,22	-
18. Шкаф.	ОРГ-1991-ГОСНИТИ	1	900х460	0,4	-
19. Установка для мойки	ОРГ-4990-ГОСНИТИ	1	600х400	0,24	3
20. Стол монтажный	ОРГ-1468-01-080	1	1200х800	0,96	-

Рекомендации по размещению оборудования на участке технического обслуживания. Участок технического обслуживания МТП изолирован, с отдельным входом, хорошо освещается и имеет вытяжную вентиляцию. В помещении поддерживается температура 20 ± 2 °С. Пол покрыт керамической плиткой. Стены и потолок покрыты светлой масляной краской. На рисунке 1 показан один из вариантов размещения оборудования на участке. Рекомендуемый размер помещения не менее 170,4 м2, фактически 188 м2. На этом рабочем месте выполняют операции технического обслуживания тракторов и автомобилей, а при необходимости проводят диагностику. Содержание работ по поддержанию и восстановлению работоспособности составных частей машины при ТО и ремонте должны определяться на основе технического диагноза. Составные части машин не подвергаются восстановительным операциям, если значения их диагностических параметров находятся в допустимых параметрах. В этом случае восстановление и регулировочные работы соответствующего вида ТО переносятся до следующего технического обслуживания, а текущий и капитальный ремонты проводят по истечению продленного значения наработки, назначаемой на основе прогнозирования остаточного ресурса. Разработанная схема технического обслуживания и диагностирования позволяет качественно и в сжатые сроки провести диагностику и ТО техники, устранить обнаруженные неисправности и дать оценку о дальнейшей

пригодности машины к эксплуатации. Проведение ТО при хранении техники выполняет специализированное звено по хранению техники во главе с заведующим машинным двором. (наименование позиций в таблице 10).

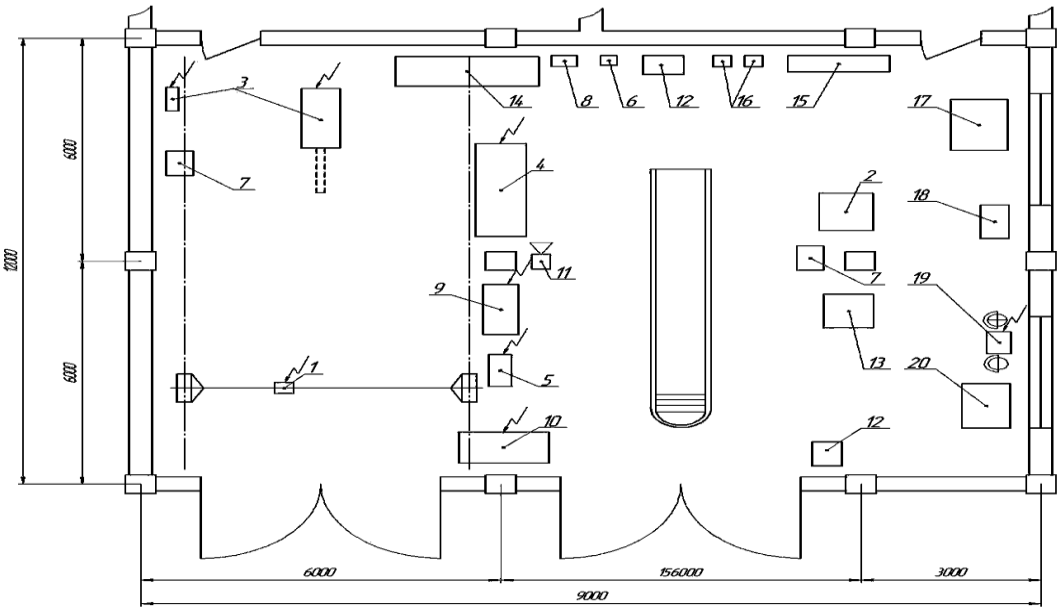

Рис. 1. Участок технического обслуживания МТП

Выводы

Как показывают расчеты, правильная организация технического обслуживания машинно-тракторного парка хозяйства, подбор и оснащение необходимым оборудованием МТП и расчеты площадей безусловно снижают трудоемкость работ, повышает уровень технической готовности машин ($К_{УТГ}$). Повышается и уровень технической эксплуатации машин, что, безусловно, приносит дополнительную экономическую эффективность для хозяйства.

Summary

As the calculations show, the correct organization of technical maintenance of the machine and tractor fleet of the economy, selection and equipping with the necessary equipment of the ICC and area calculations certainly reduce the complexity of work, increases the level of technical readiness of machines (K_{UT}). The level of technical operation of machines is also increasing, which certainly brings additional economic efficiency for the economy.

***

1. Бабусенко С.М. Проектирование ремонтно-обслуживающих предприятий. – М.: Агропромиздат, 1990. – 352 с.
2. Ерохин М.Н., Леонов О.А. Взаимосвязь точности и надежности соедине-ний при ремонте сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2006. № 2. С. 22-25.
3. Тойгамбаев С.К. Применение инструментальных материалов при резании металлов. Учебное пособие для ВУЗов./ -М.: РИО МГУП, 2007, -214с.
4. Тойгамбаев С.К., Шнырев А.П., Голиницкий П.В. Метрология. Стандартизация. Сертификация. Учебник для ВУЗов. М.: Изд. Спутник+, 2017–375с.
5. Голиницкий П. В., Вергазова Ю. Г., Антонова У. Ю. Разработка процедуры управления внутренней документацией для промышленного предприятия//Компетентность. 2018. № 7 (158). С. 20-25.
6. Тогамбаев С.К., Голиницкий П.В. Размерный анализ бронзовых подшипников скольжения при обжатии//Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2013. № 2. С. 58-60.

Унаспеков Б.А[1], Жыргалбаева Н.М.[2]

Исследование изменение теплового и гидродинамического режима на различных расстояниях обогревающего прибора от ограждающей стенки

[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им.К.И.Сатпаева
[2]Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова
[1](Казахстан, Алматы)
[2](Кыргызстан, Бишкек)

doi: 10.18411/lj-07-2019-84
idsp: ljournal-07-2019-84

Аннотация

Результаты исследований позволяют определить поток подогретого теплого воздуха, проходящего через «зону влияния» прибора. Выявлено внезапное изменение поведений расходов во времени. Установлено, что расход массы и тепловой энергии плавно возрастают при увеличении расстояния от стенки до значения h = hcr ≈ 0.045 м. При превышении этого расстояния происходит внезапное падение массы и тепловой энергии. Это объясняется возникновением гидродинамической неустойчивости при движении воздуха между прибором и ограждением.

Ключевые слова: тепловой режим, гидродинамический режим, размещение, прибор, расстояние, ограждение, поверхность, температура.

Abstract

The research results allow to determine the flow of heated warm air passing through the “zone of influence” of the device. Revealed a sudden change in spending behavior over time. It has been established that the mass and thermal energy consumption gradually increases with increasing distance from the wall to h = hcr = 0.045 m. When this distance is exceeded, a sudden drop in mass and thermal energy occurs. This is due to the occurrence of hydrodynamic instability during the movement of air between the device and the fence.

Keywords: thermal mode, hydrodynamic mode, placement, device, distance, fence, surface, temperature.

Системы отопления распределяют теплоту по всем помещениям, что обеспечивает благоприятное самочувствие и поддержание комфортных температурных условий в помещениях. Важным условием для передачи теплоты является обеспечение требуемого теплового и гидродинамического режима. Рассмотрим изменение теплового и гидродинамического режима на различных расстояниях h обогревающего прибора от ограждающей стенки. Такое исследование позволяет определить поток подогретого теплого воздуха Q, проходящего через «зону влияния» прибора. Для эффективной его работы важно, чтобы Q было наибольшим при заданных условиях обогрева, в таком случае можно говорить о максимально эффективном использовании возможностей прибора.

Также представляет практический интерес количество тепловой энергии J, Дж/(м·с), приобретаемый потоком воздуха за единицу времени на погонный метр ширины прибора при прохождении пространства между прибором и ограждением. По определению,

$$J = c_p h \int_0^1 j_x(\tau, x' = 0, y')\left[T(\tau, x' = 0, y') - T_0\right] dy'$$

Здесь за точку места расчета взято x′ = 0, что не имеет принципиального значения. Эта тепловая энергия отсчитывается от уровня средней температуры в помещении T_0, чем и объясняется наличие разности в квадратных скобках.

На практике можно встретить размещение прибора на различных расстояниях от ограждающей поверхности стены: от 1 см до 5 см. При этом пользователи стараются выбирать h как можно меньшим для увеличения свободного пространства помещения, но при этом встает вопрос об оправданности такого решения. Чем меньше расстояние h, тем меньше становится поверхность контакта между прибором и воздушным пространством. Очевидно, при h = 0 обогрев происходит полностью за счет поверхности пластин прибора и наружной частью, обращенной к помещению.

В таблице 1 приведены значения Q1, Q2, Q и J при различных расстояниях h и граничном условии $T_w = T_{w0} - (T_{w0} - T_c)\frac{x}{a}$.

Таблица 1.

Значения Q_1, Q_2, Q и J при различных расстояниях h.

h, м	Q1, кг/(м·с)	Q2, кг/(м·с)	Q, кг/(м·с)	J, Дж/(м·с)
0.01	3.1·10–3	1.2·10–3	2.15·10–3	49
0.02	1.47·10–2	1.16·10–2	1.32·10–2	282
0.03	4.87·10–2	4.54·10–2	4.71·10–2	967
0.04	1.23·10–1	1.18·10–1	1.2·10–1	2400
0.05	2.46·10–1	2.43·10–1	2.45·10–1	4863

По приведенным в таблице 1 данным виден сильный рост потока массы Q и тепла J с увеличением расстояния h, и этот рост на первый взгляд происходит неограниченно. На самом деле так не происходит, поскольку есть верхние пределы Q и J, определяемые расстоянием δ между нижним основанием прибора и поверхностью полового покрытия. Дело в том, что пространство шириной δ не может пропускать сколь угодно большой поток массы воздуха. Данные в таблице 1 позволяют судить, насколько надо быть внимательным к размещению обогревательного прибора к ограждающей поверхности. С возрастанием h уравнения гидродинамики и переноса тепла проявляют склонность к неустойчивости. Это можно заметить при неизменных пространственных шагах интегрирования Δx, Δy и шаге интегрирования по времени τ. В связи с этим укажем, что результаты в таблице при h = 0.05 получены с вдвое уменьшенным шагом Δy и вчетверо уменьшенным шагом τ. При этом числа Куранта остаются неизменными. Если оставлять неизменными Δx, Δy и τ, как и числа Куранта, то расход массы Q и тепловой энергии J плавно возрастают при увеличении расстояния h до значения $h = h_{cr} \approx 0.045$ м. После этого при $h > h_{cr}$ происходит внезапное падение Q и J. Это объясняется возникновением гидродинамической неустойчивости при движении воздуха между прибором и ограждением. Эта неустойчивость обнаруживается на графике зависимости расходов Q_1 и Q_2 от времени (рис.1).

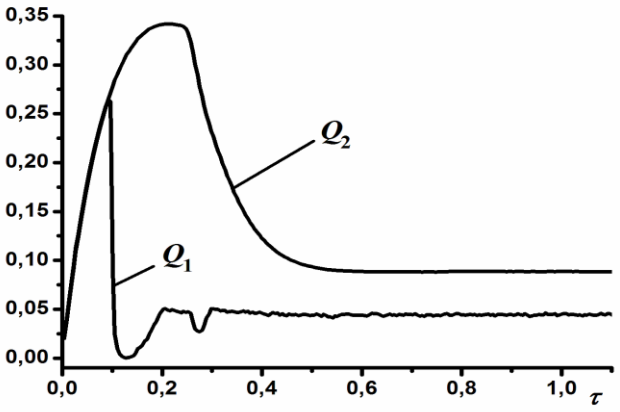

Рис. 1 Внезапное изменение поведений расходов Q_1 и Q_2 во времени.

До момента безразмерного времени $\tau \approx 0.09$ (или, размерного времени $tm\tau = 15$ с) соблюдается равенство $Q_1 = Q_2$. Но затем происходит резкое снижение Q_1 почти до нуля, поток воздуха испытывает нерегулярные колебания с большой амплитудой, в пространстве между прибором и ограждающей стенкой происходит перестройка течения, после чего плавно снижается и расход Q_2, рассчитываемый по массовому потоку в верхней части прибора. Таким образом, неустойчивость возникает в нижней части прибора, близкой к половой поверхности. После исчезновения высокоамплитудных колебаний остаются колебания с малыми амплитудами, это хорошо видно на рис. 1 при временах $\tau > 0.09$. Последующее увеличение расстояния h до h = 0.06 м не приводит к росту расходов массы и тепловой энергии.

На возникновение неустойчивости сильно влияет отношение длин a/h, например, в приведенных выше расчетах оно составляло примерно 15.6. При длине a = 1.0 м неустойчивость возникает, если $h > 0.05$, т.е. когда $a/h < 20$. Но основным источником неустойчивости является наличие зависимости температуры на поверхности стенки от координаты x: $T_s(x)$. Если вместо уравнения

$$T_w = T_{w0} - (T_{w0} - T_c)\frac{x}{a} \tag{1}$$

(T_{w0} относится к нижней точке прибора над уровнем пола) принять $T_s(x) = \text{const}$, то неустойчивость исчезает вне зависимости от значения константы.

Уменьшением шагов интегрирования можно добиться устойчивого расчета, но, тем не менее, склонность к возникновению неустойчивости имеет и физическое объяснение: известно [1, 2], что с увеличением числа Рейнольдса Re в любом гидродинамическом потоке возникает неустойчивость с последующим возникновением турбулентного течения. Возникновению неустойчивости отвечает критическое число Re_*.

Для двумерного плоскопараллельного течения принято считать $Re_* = 2300$ [1, 2], хотя могут быть не турбулентные течения и с большими числами $Re > 2300$. В расчетах характерная скорость u = 1÷2 м/с, кинематическая вязкость ν = 1.5·10–5 м2/с, при критическом значении h = 0.05 м находим $Re_* = 5000 \div 5500$, что хорошо согласуется с литературными данными.

В перспективе следует очень тщательно изучить вопрос об условиях возникновения турбулентности между прибором и ограждающей наружной стеной с низкой температурой. Первое упоминание о возникновении хаотической динамики при свободном конвективном течении содержится в работе [3], где подогрев среды производился снизу, а холодная «стенка» располагается сверху. С тех пор это вопрос был предметом тщательного обсуждения [4]. В нашем случае подогрев, как и охлаждение, происходит с боковой стороны, несмотря на различия с ситуацией в работе [3], здесь имеется и много общего.

На рис. 2. приведена качественная картина струйного потока холодного воздуха в окрестности отопительного прибора и течение внутри него по сравнению с естественным конвективным движением.

Как следует из результатов анализа численного моделирования, вероятность образования над полом холодных струйных потоков велика при сильном охлаждении ограждающей поверхности и недостаточном потоке тепла от нагревательного прибора. Но температура прибора T_p, практически равная температуре теплоносителя на входе системы отопления, строго следует за температурой наружного воздуха T_c.

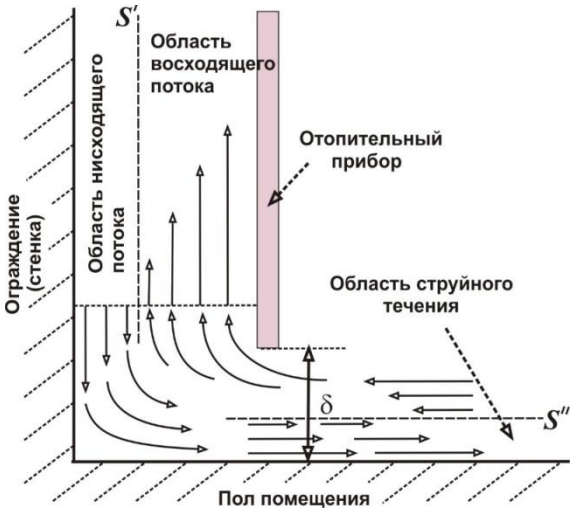

Рис. 2. Схема относительного положения области струйного течения. Линий S′ и S″ являются границами встречных потоков воздуха.

Перейдем к исследованию влияния на тепловой и гидродинамический режим расстояния между прибором и половым покрытием. Это расстояние на рис.2 обозначено как δ. Правильный выбор расстояния между нижним основанием прибора и половым покрытием обеспечивает нормальный поток воздуха через пространство между прибором и ограждающей поверхностью. Для анализа ситуации необходимо сформулировать граничное условие для скорости при x = 0. Рассматривая малую окрестность этой точки (рис. 3), введем в пространстве условные точки A, B и C. На рис. 3 эта окрестность выделена штриховыми линиями фигурой с прямыми углами, где также показаны выбранные направления скорости движения воздуха *u* и *w*.

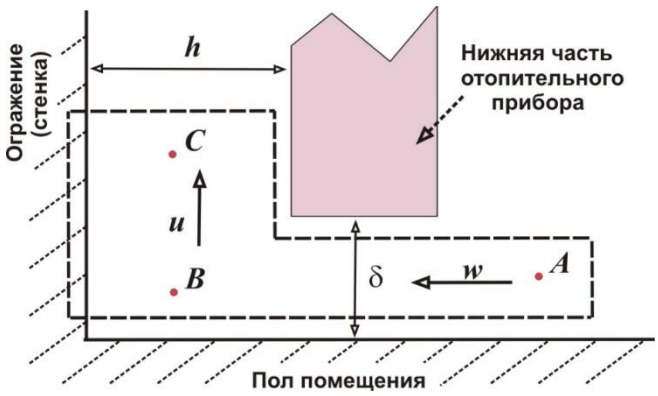

Рис. 3 Схема выделенной области в окрестности границы x = 0 для формулировки граничных условий для скорости u и температуры T.

В точках A, B и C гидродинамические давления разные, обозначим их соответственно как p_A, p_B и p_C. Перепад давления между точками A и B равен [1, 2]

$$\Delta p_{AB} = p_B - p_A = \frac{\zeta}{2}\rho w^2, \tag{2}$$

где ζ – местный гидравлический коэффициент сопротивления. Перепад давления между точками B и C равен

$$\Delta p_{BC} = p_B - p_C = \rho u \delta \frac{\partial u}{\partial x}. \tag{3}$$

Через пространства (щели) шириной δ и h проходят потоки воздуха с объемными расходами V'_δ и V'_h на единицу длины прибора и, если пренебречь слабыми изменениями

плотности и температуры в окрестности щелей, то должно выполняться равенство втекающего и вытекающего объема воздуха

$$V'_\delta = V'_h . \qquad (4)$$

Отнесенные к единице длины прибора силы, действующие на газ по горизонтали и вертикали должны быть равны:

$$\Delta p_{AB}\delta = \Delta p_{BC} h .$$

Подставив сюда формы (2) и (3), после простых преобразований находим равенство

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\zeta}{2uh} w^2 . \qquad (5)$$

Запишем равенство удельных объемных расходов (4) в раскрытом виде: $w\delta = uh$, отсюда выразим

$$w = \frac{h}{\delta} u ,$$

и используем его в (6):

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \zeta \frac{h}{2\delta^2} u . \qquad (6)$$

Это и есть искомое граничное условие для скорости u, с помощью которой учитывается торможение потока воздуха при прохождении его через пространство между нижним основанием прибора и половым покрытием. Обратим внимание на сильное влияние ширины щели δ на гидродинамическое течение в исследуемой области между прибором и ограждающей стенкой.

На практике, как правило, локальное число Рейнольдса Reδ, определенное по параметрам в окрестности этой щели δ, оказывается достаточно большим:

$$\mathrm{Re}_\delta = \frac{w\delta}{\nu} = \frac{uh}{\nu} >> 1 .$$

Поэтому коэффициент сопротивления ζ необходимо рассчитывать по известным в гидродинамике формулам, например, можно по формуле Блазиуса [7]

$$\zeta = \frac{0.3164}{\mathrm{Re}_\delta^{0.25}} .$$

Приведенные выше в предыдущем разделе результаты получены с нижним граничным условием для температуры в виде

$$x = 0: \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 ,$$

означающее отсутствие потока тепла. Чтобы выяснить, насколько оправдано такое допущение, необходимо более детально проанализировать температурный режим в окрестности границы x = 0. Для определенности считаем температуру входящего через пространство шириной δ ниже температуры воздуха на входе в исследуемой области x > 0. Тогда на рис. 3 вовнутрь выделенной штриховым контуром области на единицу длины обогревающего прибора в горизонтальном направлении входит поток тепла

$$q_1 = -c_p \rho w \delta (T - T_0) .$$

Отрицательный знак перед c_p указывает на направленность потока q_1 в противоположную сторону относительно координаты y.

В вертикальном направлении поток тепла на единицу длины прибора равен

$$q_2 = -h\lambda \frac{\partial T}{\partial x} .$$

По закону сохранения энергии эти потоки должны быть равны:

$$-h\lambda\frac{\partial T}{\partial x} = -c_p\rho w\delta(T - T_0)$$

Учитывая равенство и определение коэффициента температуропроводности κ = λ/(cpρ), получим новое граничное условие для температуры:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{u}{\kappa}(T - T_0) \qquad (7)$$

Это условие оказывается тесно связанным с равенством (7) из-за содержащегося множителя *u*. При малых δ (т.е. δ → 0) из (7) следует другое граничное условие

$$x = 0: \quad u = 0 \qquad (8)$$

Тогда (7) принимает знакомый вид

$$x = 0: \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \qquad (9)$$

Если же ширина щели δ большая величина и прибор очень близко расположен к стенке, т.е. расстояние h мало, то из (6) следует условие

$$x = 0: \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

Условие для температуры остается прежним, т.е. (7). Но принимая во внимание рост скорости потока u при увеличении расстояния h для температуры логично использовать граничное условие $T(x = 0) = T_0$.

В наиболее общем случае произвольного выбора размеров δ и h для выполнения инженерных расчетов рекомендуется пользоваться граничными условиями (6) и (7).

Результаты моделирования с использованием условий (8) и (9) приведены на рис. 4 – 6 , где показаны распределения основных физических параметров по координате y на различных уровнях по высоте x.

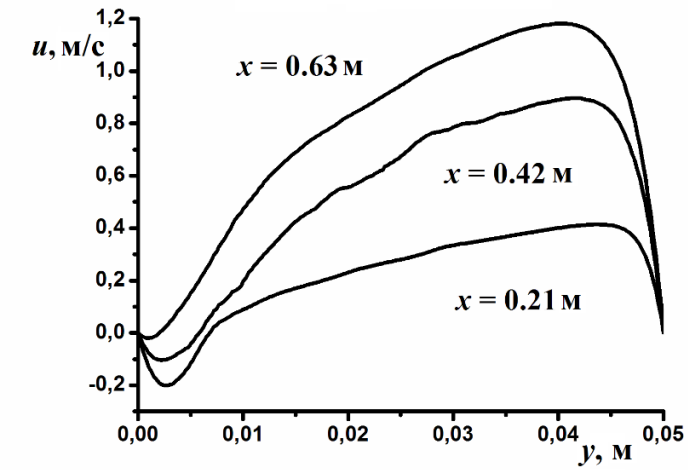

Рис.4 Распределение скорости u по координате y.

Во-первых, сразу обнаруживается качественное различие физических процессов, в частности по мере увеличения расстояния от пола сильно меняются распределения температуры и скоростей по координате y.

Во-вторых, воздух при δ = 0 не поступает снизу, вблизи левой границы *y* = 0 поток воздуха входит в пространство между прибором и ограждением с отрицательной скоростью, т.е. устремляется вниз (левая часть на рис. 4, 5).

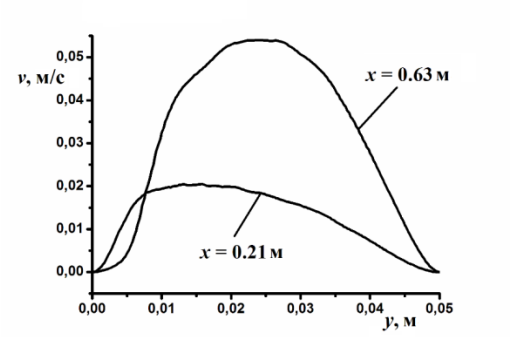

Рис.5. Распределение скорости v по координате y.

После этого воздушный поток движется вправо к горячей поверхности прибора, прогревается и начинает подниматься вверх (правая часть на рис. 4 – 6).

Наличие мелких выступов и впадин на кривых свидетельствует о нестационарном характере течения, хотя в среднем по времени картина не меняется, но в каждой точке пространства физические параметры подвергаются мелким и постоянно действующим пульсационным колебаниям, которые имеют нерегулярный характер. Слабые нерегулярные колебания наблюдаются и в зависимости Q1(τ).

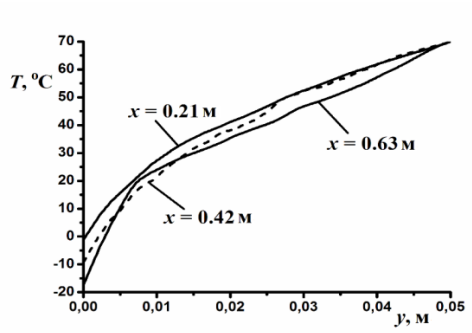

Рис. 6 Распределение температуры T по координате y.

Соответствующая качественная картина течения, построенная на основе численного моделирования, показана на рис. 7 .

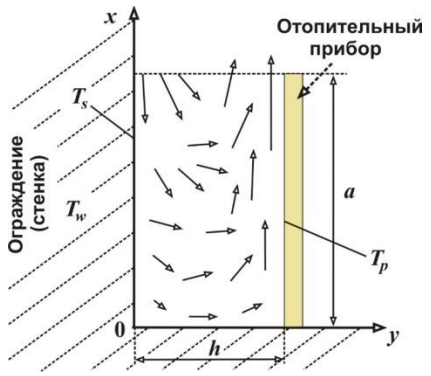

Рис. 7. Качественная картина течения при закрытой нижней части прибора (δ = 0).

Здесь, в отличие от предыдущих результатов, образование вихревых потоков ярко выражено, поскольку скорость v по абсолютному значению уже достигает 5 и более см/с.

На рис. 7 показан случай с образованием только одного большого вихря, этот вихрь простирается от нижней до верхней части исследуемого пространства.

При моделировании также оказалось возможным образование множества мелких вихрей с большими скоростями в малых пространственных масштабах, какие обычно наблюдаются в турбулентных потоках.

Несмотря на «закрытую» нижнюю часть обогревающего прибора и $Q_2 = 0$, движение воздуха не прекращается, циркулирующий сверху вниз и снизу вверх поток дает ощутимый поток прогретого воздуха. Массовый его расход определяется только значением $Q_1 = 0.049$ кг/(м·с), поток тепла прогретой воздушной массы составляет J = 1467 Дж/(м·с). Примерно такое значение теплового потока получается при открытой нижней части прибора и расстоянии h = 0.035 м (таблица 1). Но это только кажущаяся «эффективность» закрытия нижней части прибора, интенсивное движение в пространстве между прибором и стенкой, наблюдаемое по результатам рис. 4 – 6 , вызвано сильным градиентом температуры, точнее, наличием холодной части со стороны щели, откуда поступает наружный воздух. При отсутствии такой холодной области воздух практически не двигался бы вниз у левой границы рассматриваемой области, и вся эта область оказалась бы «выключенной» из процесса теплообмена и обмена массой с остальным окружающим пространством.

Итак, в итоге рассмотрены два предельных случая теплового и гидродинамического режима в области между прибором и ограждающей стенкой. По этим предельным данным можно судить о степени влияния расстояний δ и h на режим обогрева помещения, определяемого, в конечном счете, потоками массы Q и тепла J. На гидродинамику и теплообмен существенное влияние оказывают два геометрических параметра: расстояние между прибором и стеной, и расстояние от полового покрытия до нижней части прибора. В частности, возможно возникновение тонкого слоя нисходящего потока холодного воздуха вдоль ограждения и над половым покрытием. Найдено условие возникновения такого нисходящего потока, оно определяется отношением температур стенки, прибора и средней температуры в помещении.

В статье используются современные численные методы и схемы, поскольку без них невозможно получить решения нелинейных уравнений гидродинамики и конвективной теплопроводности.Программные коды для реализации численных методов и схем написаны на языке DevCpp версии 4.9.9.2/5.11. Графические материалы для наглядной иллюстрации результатов, полученных с помощью программных кодов, созданы на программном пакете Qrigin Pro версии 7.0.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета по науке МОН РК (договор №101 от 08.03.2018 г.)

***

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. Издание 7-е. – М.: Дрофа, 2003.
2. Беннет К. О., Майерс Дж. Е. Гидродинамика, теплообмен и массообмен. Пер. с англ. М. С. Ассмус и В. М. Ентова / Под ред. Н. И. Гельперина и И. А. Чарного. – М.: Недра, 1966. – 726 с.
3. Lorenz E. N. Determines nonperiodic Flow. // Journal of Atmospheric Science. 1963. Vol. 20. P. 130.
4. Шустер Г. Детерминированный хаос. – М.: Мир, 1985.
5. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992.

Чистогова В.А.

Построение карт геодинамических процессов на основе модели движения тектонических плит

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, Пермь)

doi: 10.18411/lj-07-2019-85
idsp: ljournal-07-2019-85

Аннотация

В данной статье приведен опыт построения карт современных геодинамических процессов на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Построение карт

выполнено на основе наиболее оптимальной модели движения тектонических плит. Расчеты выполнены с помощью сервиса Plate Motion Calculator.

Ключевые слова: базовая станция, ГЛОНАСС, GPS, GNSS, CSRS-PPP, PPP

Abstract

This article presents the experience of building maps of modern geodynamic processes in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. The mapping is performed on the basis of the most optimal model of tectonic plate movement.

Keywords: GLONASS, GPS, GNSS, CSRS-PPP, PPP

Внешняя оболочка планеты состоит из нескольких тектонических плит, движущихся относительно друг друга со скоростями, иногда достигающими несколько сантиметров в год [1].

С помощью современных геодезических методов возможно в кратчайшие сроки и с достаточной точностью вычислить направления и скорость движения тектонических плит, а также при помощи данных характеристик рассчитать тектонические деформации на границах этих плит.

На сегодняшний день существует достаточно большое число моделей кинематики плит, созданных на основе геологических, геофизических и геодезических данных. Однако ни одна из существующих моделей не является совершенной. Все они различаются по количеству плит и оценкой скоростей

Из-за того, что методы космической геодезии на обширной территории России пока представлены очень редкими сетями базовых станций определение параметров кинематики в различных регионах является важной задачей.

Ханты-Мансийский автономный округ расположен на территории Западно-Сибирской плиты, которая относится к более крупной Евразийской плите. Деформирование земной коры в этой области характеризуется силами, вызванными движениями Индийской и Евразийской тектонических плит.

В исследовании «Уточнение параметров кинематики литосферных плит в районе мониторинга» [3] была определена наиболее оптимальная модель движения тектонических плит APKIM 2000, на основе которой выполнялось построение карт современных геодинамических процессов в данном регионе. Модель определялась с помощью методы наименьших квадратов. Проводилось сравнение скорости движения тектонических плит, вычисленных при помощи сервиса Plate Motione Calculator [4] и измеренных при помощи базовых GNSS-станций, располагающихся в исследуемом регионе.

Модель APKIM 2000 создана в 1998 г. Германом Древесом. Эта модель построена по данным методов космической геодезии VLBI (Very Long Baseline Interferometry), GPS (Global Positioning System), SLR (Satellite Laser Ranging). Расчеты произведены для 12 плит [5].

Для построения карт на исследуемой территории была построена сетка точек 100x100 км, в каждой из которых при помощи сервиса Plate Motion Calculator определялись скорости движений земной коры для модели APKIM 2000. Были рассчитаны вертикальные и горизонтальные составляющие скоростей, по котором было выполнено построение карт (Рисунок 1-2).

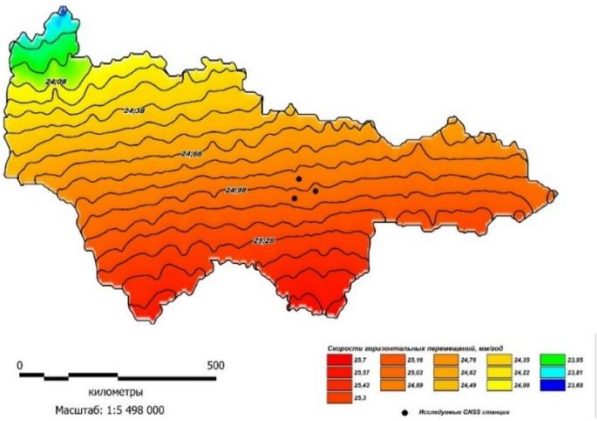

Рисунок 1. Карта скоростей горизонтальных перемещений тектонической плиты

Анализируя рисунок 1, можно выделить, что увеличение скоростей происходит в юго-восточном направлении. Данную зависимость предположительно можно объяснить тем, что в южной части происходит столкновение Западно-Сибирской платформы с салаиридами Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна. Также согласно рисунку 2 вертикальные скорости увеличиваются в западном направлении.

Комплексно проанализировав рисунки 1-3 можно сделать вывод что на большей части исследуемого региона наблюдается северо-восточное направление движения точек полигона, но в юго-восточной части происходит смена направления на восточное, что также сопровождается увеличением скоростей движения.

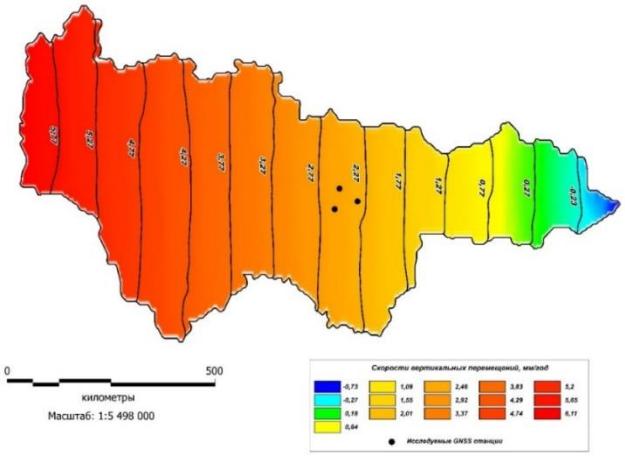

Рисунок 2. Карта скоростей вертикальных перемещений тектонической плиты

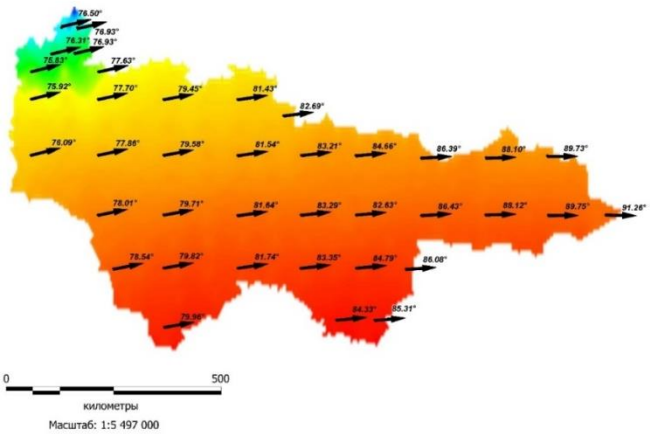

Рисунок 3. Карта направления скоростей горизонтальных перемещений тектонической плиты

В ходе данного исследования были выполнены построения карт, которые характеризуют современные геодинамические процессы на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Полученные карты основаны на наиболее подходящей для данной территории модели кинематики тектонических плит. Данные карты можно использовать для повышения точности измерений при различных видах мониторинга, путем внесения поправок в измерения. Важно так же сказать, что рассматриваемая в исследовании модель не позволяют полностью описать кинематику региона, так не является совершенной. Для более точного описания кинематики, необходимо развивать сеть базовых станций в регионе, но на данном этапе наиболее оптимальным является использование математических моделей.

***

1. Спесивцев А.А. Разработка методики учета сезонных геодинамических эффектов с использованием данных о гравитационном поле Земли: Дис канд. техн. наук. – Москва, 2017г. – 110 с.
2. Тимофеев В.Ю. Об унаследовании движений сибирской платформы (GPS и палеомагнитные данные) / В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, А.Ю. Казанский, Д.В. Метелкин, Е.В. Бойко, В.Ю. Брагин // Гео-Сибирь: - 2008. - №2 Том 3. – С.279-284
3. Чистогова В.А. Определение параметров движения литосферных плит в районе мониторинга / В.А. Чистогова, Е.С. Богданец // Master's journal: - 2019. - №1 – С. 57-61.
4. Plate Motione Calculator [Электронный ресурс]. – URL: https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html
5. Geodesy for Planet Earth: Proceedings of the 2009 IAG Symposium, Buenos Aires, Argentina, 31 August 31 - 4 September 2009 [Электронный ресурс]. – URL: https://books.google.ru/books?id=XwYWcXVIXGkC&dq=APKIM2000&hl=ru&source=gbs_navlinks_s

Чистогова В.А.

Исследование зависимости точности позиционирования базовых GNSS станций от температурного фактора

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, Пермь)

doi: 10.18411/lj-07-2019-86
idsp: ljournal-07-2019-86

Аннотация

В данной статье рассматривается зависимость точности позиционирования базовых станций от влияния температурного фактора. Исследование проводилось на основании наблюдений за GNSS станцией в течении 5 дней. В результате анализа были построены графики зависимости СКП базовой станции от температуры.

Ключевые слова: базовая станция, температура, GPS, GNSS, AUSPOS, PPP

Abstract

This article discusses the dependence of the accuracy of the positioning of base stations on the influence of the temperature factor. The study was conducted on the basis of observations of the GNSS station for 5 days. As a result of the analysis, we plotted the temperature dependence of the mean square error base station.

Keywords: temperature, GPS, GNSS, AUSPOS, PPP

В 1957 году состоялся первый успешный запуск первого искусственного спутника земли в СССР. Это стало первым толчком в развитии Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (GNSS). GNSS изначально задумывалась и разрабатывалась исключительно для военных нужд. В настоящее время, GNSS системы принимают участие не только в военной сфере, а также в науке, бизнесе, промышленности, бытовых

повседневных задачах и тд. GNSS системы оказывают большое влияние на все сферы деятельности государства.

GNSS базовые станции используются для широкого круга задач, как в научной сфере, так и в изысканиях, кадастровых работах, мониторинге деформаций земной поверхности и тд.

Таким образом, задача повышения точности позиционирования базовых GNSS станций актуальна.

Гипотеза данной статьи основана на исследовании, которое было проведено в статье «Исследование влияния времени суток на точность позиционирования базовых GNSS-станций» [1, с.3], по результатам которого можно предположить, что деформации крепления GNSS антенны и самой антенны, из-за теплового расширения материалов, вследствие изменений температуры воздуха.

Были сформулированы следующие цели: найти и выбрать базовую GNSS станцию, которая бы стабильно работала в климатических условиях с значительным суточным изменением температур; определить выборку данных, когда изменения климатических условий были бы минимальны; обработать полученные данные; сделать выводы по полученным результатам.

Поиск нужной базовой станции и скачивание выборки данных производилось с помощью сервиса SOPAC. SOPAC – это крупнейший сервис, на котором выложены данные со множества базовых GNSS станций по всему миру в открытом доступе.

Чтобы подчеркнуть и обнаружить зависимость точности позиционирования от изменения температуры, необходимо найти станцию, расположенную в климатических условиях с значительным суточным изменением температур. При этом необходимо минимизировать остальные негативные внешние факторы, такие как: влажность и количество осадков, сейсмическая устойчивость района, устойчивость грунта области нахождения станции, наличие атмосферных аномалий и помех.

Таким образом была выбрана станция находящаяся в пустыне Мохаве, Аризона, США. Выбранный период измерений составил 5 дней с 01.07.2017 по 05.07.2017. Температурный минимум +18°C, а максимум +40°C, в среднем колебания температур составили около 20°C.

Данные GNSS измерений обрабатывались с помощью бесплатной онлайн системы обработки данных GPS – AUSPOS. AUSPOS производит вычисления с использованием ПО Bernese. Bernese - это научное, высокоточное программное обеспечение для обработки данных с GNSS станций, разработанное в Астрономическом институте Университета Берна (AIUB).

Так же, нужно отметить, что в процессе обработки данных AUSPOS учитывает и вносит свои поправки в выдаваемые результаты, чтобы минимизировать влияние таких негативных факторов, как тропосферы, ионосферы, погрешность часов приемника и другие.

Файлы RINEX с сервиса SOPAC скачивается во времени UTC. Таким образом, чтобы иметь правильное представление о полученных результатах, данные были переведены в часовой пояс UTC -7 часов, штата Аризона, где располагается выбранная GNSS станция. Данные о погоде были взяты из архива Weather Underground [3], с ближайшей метеостанции. Во все дни наблюдений погода была безоблачной, без осадков и каких- либо аномалий.

Чтобы наблюдать изменения положения GNSS станции в течении суток, необходимо разбить данные суточных наблюдений на периоды. Длина периода была выбрана 4 часа, что позволит с достаточной детальностью отразить картину изменений, и в тоже время не пострадает получаемая точность, поскольку основной прирост точности GNSS измерений происходит в первые 2-3 часа.

На рисунке 1 представлен график зависимости СКП позиционирования базовой станции от температуры по обработанным данным. Полученные значения СКП расставлены на середину временного интервала. Температура, указана, полученная в этот момент времени.

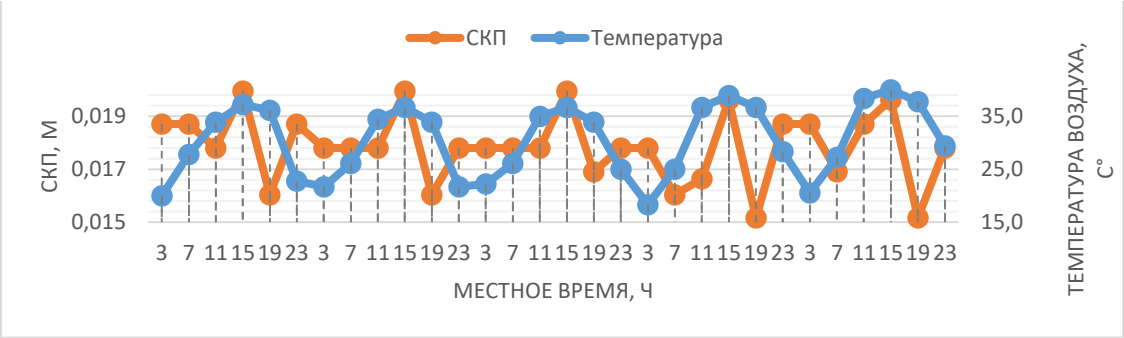

Рис. 1 График значений СКП в зависимости от температуры

Из рисунка 1 видно, что пики значений СКП совпадают с максимумами температуры с 13-17 часов. Так же видно, что в период спада температуры с 17-21 часа идет повышение точности позиционирования, а в период повышения температуры с 7-13 часов идет повышение СКП. Однако из графика видно, что, хотя минимум температуры устанавливается ночью с 23-6 часов, есть некоторое повышение СКП, которое явно зависит от других факторов.

Это явление необходимо изучить более детально, но можно предположить, что оно возникает из-за ухудшения качества геометрии спутников. То есть уменьшалось количество наблюдаемых прибором спутников. С помощью сервиса Trimble GNSS Planning Online мы можем узнать для нужной нам точки земли качество спутникового GNSS покрытия, количество видимых спутников, DOPs (ухудшение точности положения спутников на небосводе), период наблюдения спутника, степень отрицательного влияния ионосферы и др. Изучая используемые нами данные с помощью этого сервиса, можно заметить, что малое количество спутников и наибольшие пики погрешностей, с этим связанные, возникают в 04:10, 13:20 и 16:10 по местному времени [2]. Измерения, проведенные в 13:20 и 16:10 попадают в общий интервал наблюдений с 13-17 часов по местному времени, что увеличивает пик СКП.

В GNSS измерениях точность плановых координат всегда была выше, чем по высоте. Вот и в этом исследовании величина СКП по высоте больше в 3 раза, чем плановые СКП. 1-2мм – СКП в плане. 9мм – СКП по высоте. В связи с этим особый интерес представляет зависимость изменения вычисленной высоты базовой станции и изменение температуры воздуха, представленная на рисунке 2.

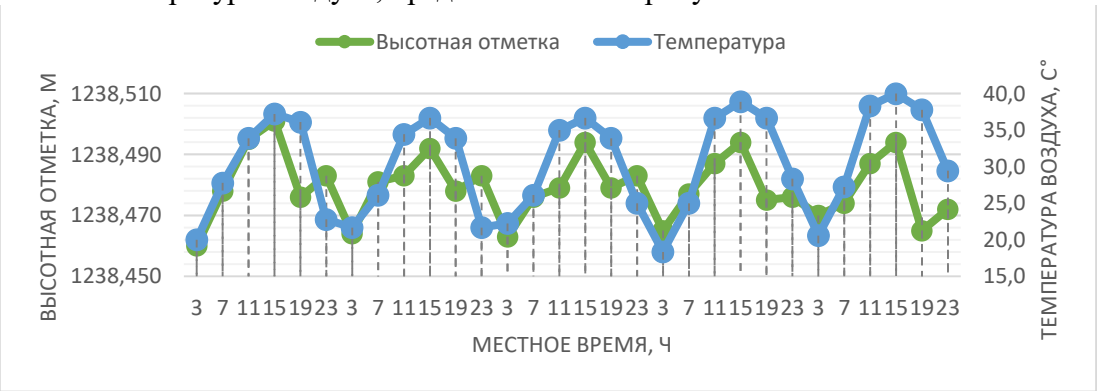

Рис. 2 График значений Н в зависимости от температуры

На рисунке 2 показано, что суточные колебания по высоте составили 0,04м. при колебании температуры 20°С. Пики наибольшей суточной высоты достигаются тогда, когда температура набрала свой максимум, так же минимумы температуры совпали с минимумами высотных отметок.

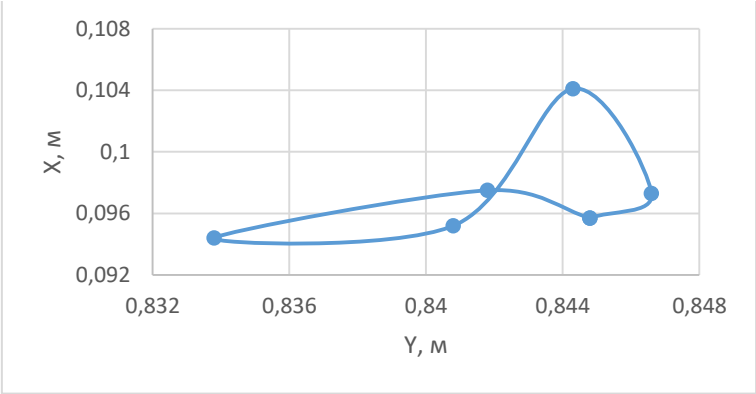

Рис. 3 График изменения усредненных плановых координат в течении суток

Восход солнца начинается в 5:30, а закат в 19:50 по местному времени. Согласно рисункам 2-3 делаем вывод, что температура влияет на положение базовой станции путем деформационных расширений конструкций, на которых установлена базовая станция. Солнце всходит на востоке, нагревает сначала одну сторону GNSS станции, при этом идет интенсивное нагревание воздуха, стоит отметить, что в 11 часов повышение температуры воздуха замедляется, он уже почти достиг своего максимума. На рисунке 3 линии перемещения пересекаются примерно во время прохождения солнцем зенита. С 11 до 19 часов температура воздуха отклоняется в малых пределах (около 4 градусов), что выражается в плавно изменяющемся графике. С 19 по 23 часа происходит интенсивное остывание GNSS станции. С 23 по 7 часов на GNSS станцию почти не влияет солнце. Можно отметить, что при интенсивном изменении температуры, изменение положения GNSS станции, так же больше, чем при малом изменении температуры.

В заключении, можно сказать, что тепловое расширение материалов GNSS антенны, ее крепления, поверхности грунта, здания (если станция расположена на нем) оказывает влияние на точность ее позиционирования. Полученные погрешности не окажут существенного влияния на проведения геодезических изыскательных работ, но при проведении геомониторинга земной поверхности, или использовании этих данных в научных целях, данные погрешности лучше устранить, введя систему поправок в полученные результаты и жестко закрепив антенну с помощью материалов, которые менее подвержены тепловому расширению.

***

1. Тютюков, А.С. Исследование влияния времени суток на точность позиционирования базовых GNSS-станций / Тютюков, А.С., Богданец, Е.С. // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: материалы XI Всероссийской науч.-технич. конф. -2018
2. Trimble GNSS Planning Online // [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.gnssplanning.com/#/settings
3. Weather Underground // [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.wunderground.com

Pentiukova E.O.

Activities of airports as part of transport system of the country

Far Eastern State Transport University
(Russia, Khabarovsk)

doi: 10.18411/lj-07-2019-87
idsp: ljournal-07-2019-87

Аннотация

Данная статья посвящена вопросам решения задач аэропортов-хабов. Проведен анализ причины проблем, возникающих в деятельности хабов, а также государственных программ, направленных на развитие отрасли.

Ключевые слова: транспортная система, пассажирооборот, аэропортовая деятельность, хаб, транспортный комплекс.

Absract

This article is devoted to the issues of solving the hub-airport problems. The causes of problems arising in the activities of hubs, as well as government programs aimed at the development of the industry are analyzed.

Key words: transportation system, passenger traffic, airport activity, hub, transportation industry.

Relevance. The development of Russian transportation system is the key issue of its functioning and development in the current context. Nowadays, air transportation is one of the most globalized segments of the transportation system, as it is able to quickly serve the needs of world trade, handle international transit cargoes from flight to flight, efficiently serve passenger traffic, etc. The article [1] indicates that Russian transportation system includes all contemporary types of transport – railway transport, automobile transport, sea transport, river transport, air transport and pipeline. The share of air transport in the total volume of passenger traffic is 0.5%, and in the carriage of goods even less - 0.02%, while in the passenger traffic the “weight” of air transport is significant - 42.8%. Air transport is a dynamically developing form of passenger transport [1]. Therefore, airports with high-quality service are the key to the development of country and the subject of competition. Due to the fact that the Russian Federation is making significant efforts to diversify the economy, including the development of the transit opportunities of the airspace of the Russian Federation.

Main part. Orientation to the development of the transit opportunities of the airspace of Russia is due to the fact that nowadays the main air cargo traffic flows between North America, Europe, and the Asia-Pacific region (from 80 to 90% of the world air cargo market). Whereas, Russian airspace is often the most optimal [2]. When using the hub model in the Russian Federation, revenues from transfer freight will rise, and an increase in traffic will be an incentive for the development of both the cargo terminal and the airports themselves.

As indicated in [3], airport networks operate on the basis of airports. In addition, the author defines an airport as a complex of buildings that is intended for receiving, sending, basing aircraft and servicing air transport, having an aerodrome for this purpose, an air terminal (there are often several air terminals at major airports), one or several cargo terminals and other ground facilities. and the necessary equipment. "

In the coming years, the airport network of Russia will face major changes. According to the plans of the Ministry of Transport of the Russian Federation, as a result of its reform, the consigner will be able to deliver cargo from any corner of the country to anywhere in the world using convenient and fast routes and using large hub airports. Thus, the task of identifying airports that can become hubs (the airline hub — airports that are used by an airline or airline alliance as a point of concentration of freight traffic and have a high percentage of connecting flights) has particular relevance.

At the same time, the airport and its services are not a separate building, occupied only with the transport of passengers, it is an active participant in the economic life of the city and country [3]. The scope of airport activities includes passenger, baggage, cargo and mail transportation, maintenance of aircraft flights and crews. Airport activities are carried out in the interests of passengers and other customers - consumers of air services, as well as subjects of the air transport market, directly carrying out air transportation or contributing to their implementation [4].

In most cases, hubs are the largest airports in various countries. Also, such concepts as “hub airport”, “transfer hub” are often equated with the concept of a hub. Hubs are the so-called component of the fan route network, which connects the air transport with the ground transportation system, where docking of domestic flights with international ones takes place. Hubs are a profitable investment area. Thus, commercial development in this area makes it the

main generators of urban growth, as it itself becomes important points of employment, trade and business, thereby attracting even non-aviation commercial activities [5].

In order to improve the leadership positions in the Far East within the framework of the aviation hub, the modernization of the Khabarovsk “Noviy” airport is of great strategic importance. Khabarovsk (as part of the urban district of the same name) is the largest transport hub of the Russian Far East, along with Vladivostok. By the end of 2016, in terms of passenger traffic, the Khabarovsk “Ne” airport took 16th place among Russian airports (1.795 million people / year), while Vladivostok Airport “Knevichi” took 14th place (1.892 million people / year) [6].

Considering the fact that the Knevichi airport in Vladivostok has difficult climatic conditions, as part of its operation, the frequency of poor visibility is increased, the Khabarovsk “Noviy” airport can more effectively act as a transit hub.

Within this, a number of advantages are seen: the gross domestic product (GDP) is increasing, new jobs are being created, investments are being attracted to the Khabarovsk Territory; provides linkage of freight with remote and global markets; goods are provided related to the needs of the local market. Therefore, the main directions of development of the transport complex of the Khabarovsk Territory, allocated at the regional level, are included in the State Targeted Program “Development of the transport system of the Khabarovsk Territory” [7] for the period 2013–2020. and "The strategy of social and economic development of the Khabarovsk Territory for the period up to 2025" [8].

Hub is beneficial for both consigners and consignees because they receive: more direct flights for sending and receiving goods; delivery time and mail; greater choice of destinations.

Hub provides airlines with the following benefits: an increase in the frequency of flights; reduction of market risks due to the preservation of cargo traffic in its route network; expansion of flight network with reduced cost.

For airlines, as key participants in the transportation process, the cost of servicing at the airport has great importance in the formation of the cost of the flight. Carriers, seeking to minimize costs and reduce the cost of air travel, are interested in keeping aircraft in the air as long as possible: in this case, the maximum possible load factor is ensured, better coordination of aircraft movement, crew raids and maintenance schedules.

To achieve this goal, many airlines are interested in cooperation with airports operating on the “Hub and Spokes” air communication system, which allows concentrating cargo traffic from different points of departure at hub airports (hubs) for their further redistribution to different destinations.

In addition, today, South Korea’s international airport in the city of Seoul is heavily loaded, and as a result, the competent organization of the Khabarovsk “New” airport makes it possible to secure air transport and partially unload the South Korean airport “Inchon”.

Today, most large hubs are developed by based airlines, often national airlines as well. For example, Frankfurt and Munich were developed by Lufthansa, Zurich - SWISS, London - Heathrow - British Airways, Amsterdam - KLM Royal Dutch Airlines, Sheremetyevo - Aeroflot - Russian Airlines, AirBridgeCargo, etc. A necessary condition for becoming a hub is a strong based airline with a stable financial position [2].

Conclusion. Reconstruction and modernization of the Khabarovsk airport has fundamental importance for maintaining and strengthening the status of the Khabarovsk Territory as an economically and humanitarianly open territory [9]. Nowadays, the reconstruction of the Khabarovsk “New” airport continues.

As a result of the reconstruction, the Khabarovsk airport will able to fully implement the functions of the hub and will be able to act as an air transport hub not only at the regional, but also at the national as well as international level.

***

1. Bogdanova T.V., Subbotin N.N. Koncentraciya passazhiropotokov i gruzopotokov v rossijskih aeroportah // Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyj universitet upravleniya). 2017. № 7-8. S. 84-90.

2. Konikova E.V., Voronenkov S.N. Razvitie gruzovogo tranzitnogo i transfernogo potenciala v aeroportah Rossii // V sbornike: ROL' I «Znachenie sovremennoj nauki i tekhniki dlya razvitiya obshchestva» sbornik statej mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoj konferencii: v 3 chastyah. 2017. S. 67-72.
3. Suslov A.A. Perspektivnye napravleniya razvitiya aerodromnyh setej v Rossii // V sbornike: Strategiya ustojchivogo razvitiya regionov Rossii Sbornik materialov HXXVIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Pod obshchej redakciej S.S. CHernova. 2017. S. 98-107.
4. Divak N.I. K voprosu o razrabotke novoi struktury vozdushnogo prostranstva moskovskoi vozdushnoi zony // Nauchnyi vestnik MGTU GA. – 2014. – No 209. – S. 67-70.
5. Rumyanceva E.V., Manuhina O.A. Razvitie aeroportov kak faktor ekonomicheskogo i innovacionnogo razvitiya strany // Potencial sovremennoj nauki. 2017. № 2 (28). S. 73-76.
6. Krylov P.M. Habarovskij transportnyj uzel: problemy razvitiya s pozicij ekonomicheskoj geografii i gradostroitel'stva // V sbornike: Landshaftnye i geoekologicheskie issledovaniya prirodnyh i antropogennyh geosistem Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (zaochnoj): pamyati professora N.I. Dudnika. «Ministerstvo obrazovaniya i nauki rf, tambovskij gosudarstvennyj universitet imeni g.r. derzhavina», tambovskoe oblastnoe otdelenie russkogo geograficheskogo obshchestva, tambovskoe regional'noe otdelenie associacii rossijskih geografov-obshchestvovedov». 2017. S. 72-76.
7. Postanovlenie Pravitel'stva Habarovskogo kraya «Ob utverzhdenii gosudarstvennoj celevoj programmy Habarovskogo kraya «Razvitie transportnoj sistemy Habarovskogo kraya» ot 05 maya 2012 g. № 146-pr / Konsul'tantPlyus.
8. Postanovlenie Pravitel'stva Habarovskogo kraya «O Strategii social'nogo i ekonomicheskogo razvitiya Habarovskogo kraya na period do 2025 goda» ot 13 yanvarya 2009 g. № 1-pr / Konsul'tantPlyus.
9. Bardal' A.B. Strategicheskie napravleniya razvitiya transportnogo kompleksa Habarovskogo kraya // V sbornike: Regional'noe strategicheskoe planirovanie: opyt Habarovskogo kraya materialy nauchno-prakticheskoj konferencii. pod obshch. red. A.N. Dem'yanenko; Institut ekonomicheskih issledovanij DVO RAN. 2016. S. 21-32

РАЗДЕЛ XX. МЕДИЦИНА

Маркова И.А., Уарова М.Ю., Аржакова Л.И.

Изучение возрастных особенностей антропометрических и физиометрических показателей подростков раннего и позднего пубертантного возраста, проживающих в Республике Саха(Якутия)

ФГАОУ ВО «СВФУ имени М.К. Аммосова»
(Россия, Якутск)

doi: 10.18411/lj-07-2019-88
idsp: ljournal-07-2019-88

Аннотация

Работа посвящена комплексному исследованию особенностей антропометрического статуса, показателей физиометриии биоимпедансиометрии у лиц пубертантного возраста с учетом полового и возрастного аспекта с целью определения стандартных характеристик для региона.

Ключевые слова: антропометрия, физиометрия, биоимпендансиометрия, пубертантный возраст, костно-мышечная масса, жировая масса

Abstract

Our research rea is devoted to a complex consideration of the anthropometrical status, bioimpedansiometriya and fiziometriya indicators at persons of teenage taking into account sexual and age aspect for the purpose of definition of standard characteristics for the Republic of Sakha.

Keywords: anthropometry, fiziometriya, bioimpendansiometriya, pubertantny age, bone muscle bulk, fatty weight

Изучение особенностей роста и развития детей в меняющихся социально-экономических условиях относится к числу ключевых проблем профилактической медицины на современном этапе. Возрастной период ранней (от 15 до 18 лет) юности имеет особую важность для всей последующей жизни человека, сопровождается перестройкой регулирующих систем организма. (6) В связи с этим, здоровье подрастающего поколения в нашей стране и Республике Саха (Якутия) представляет собой серьезную государственную проблему, от решения которой во многом зависит дальнейшее экономическое и социальное благополучие общества.

Цель работы – дать характеристику возрастных особенностей антропометрических и физиометрических показателей подростков раннего и позднего пубертантного возраста, проживающих в Республике Саха(Якутия)

Задачи исследования:

1. Исследовать антропометрический статус и уровень физического развития подростков раннего и позднего пубертантного возраста.
2. Дать анализ компонентного состава тела детей в данной возрастной категории.
3. Определить взаимосвязь указанных характеристик

Материалы и методы:

1. Антропометрическое исследование
2. Исследование физического статуса методами определения ЖЕЛ, динамометрии и становой тяги.
3. Метод определения состава тела с помощью биоимпедансометрии.

Работа проводилась на базе медицинского института Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.. Всего обследовано 104 юношей и девушек в возрасте 14 и 17 лет, постоянно проживающих в Республике Саха (Якутия). В исследовании были использованы общепринятые методики. Антропометрические измерения проводились по методикам, предложенным [3], и включали в себя измерения

тотальных размеров и массы тела: длина (см), масса (кг) тела, окружность грудной клетки (ОГК, см), окружность талии (ОТ,см) и бедер (ОБ, см). Исследование функциональных показателей включало измерение показателей жизненной емкости легких (ЖЕЛ) и силы отдельных мышц. Жизненная емкость легких измерялась методом спирометрии с помощью аппарата СпироС- 100. Измерение мышечной силы проводилось методом динамометрии с помощью кистевого динамометра на обеих руках [3 и становой динамометрии. Толщину подкожножировых складок определяли методом калиперометрии. Содержание жирового компонента оценивали методом биоимпедансометрии (Котлярова Л.В., 2007) прибором Медасс- АВС 01.

Статистические методы, используемые при обработке полученного материала, включали вычисление распределения отдельных признаков и оценка основных характеров распределения (среднее арифметическое – М; стандартное отклонение– m) и оценку полученных результатов по возрастным центильным шкалам. Все вычисления проводились на компьютере с помощью программы Microsoft Office Excel 2010.

Измерения проводились с соблюдением принципов добровольности, прав и свобод личности, гарантированных ст. 21 и 22 Конституции РФ. Выполненная работа не ущемляет права и не подвергает опасности благополучие субъектов исследования в соответствии с требованиями биомедицинской этики, утвержденными Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (2000). У всех школьников было получено индивидуальное информированное согласие на участие в исследовании.

Результаты и их обсуждение.

Антропометрия. Важной характеристикой здоровья детей и подростков является гармоничность физического развития , так как это весьма информативный показатель, который отражает интегральную взаимосвязь между различными антропометрическими показателями (роста и массы тела), а также возрастом и полом ребенка. (1) При оценке результатов измерения тотальных размеров тела по возрастным центильным шкалам установлено, что большинство показателей находятся в коридоре № 4 (область «средних» величин).(4) В таблице 1 показан сравнительный анализ антропометрических характеристик 2 групп детей раннего (далее группа А) и позднего (далее группа Б) пубертатного возраста обоего пола.

Таблица 1

Средние показатели тотальных размеров тела

Показатели	Юноши 14 лет(n=39) группа А	Девушки 14 лет (n=18) группа А	Юноши 17 лет (n=25) группа Б	Девушки 17 лет (n=22) группа Б
Рост, см	166,16±1,90	160,18±3,98	174,32±3,09	161,85±1,34
Масса тела, кг	60,09±1,64	54,31±3,62	74,07±5,56	55,26±0,66
Окружность грудной клетки, см	83,49±0,90	80,44±1,86	91,10±1,84	79,17±2,08
Окружность талии, см	73,41±1,01	68,16±0,23	79,57±2,31	65,70±1,27
Окружность бедер, см	88,41±0,57	88,07±2,40	92,68±1,44	83,87±0,33

Как видно из таблицы 1, у двух групп А и Б имеются различия по всем представленным параметрам. Длина тела, масса и окружности грудной клетки, талии и бедер у юношей в целом больше, чем у девушек в обоих возрастных периодах. Так, разница в росте тела между лицами мужского пола групп А и Б значительна, и составляет 8,16 см, у девушек разница незначительна - 1,67 см. Масса тела различается на 19,98 и 0,95 кг соответственно. Окружности груди, талии и бедер у юношей группы Б больше, чем в группе А на 7,51; 6,16 и 4,27 см соответственно. У девушек наблюдается противоположная тенденция: эти показатели у группы Б ниже, чем в группе А: на 0,74; 2,46; 4,2 см.

Физическое развитие подростков. Установлено, что показатели динамометрии и становой тяги достоверно увеличиваются у юношей в возрасте от 14 до 17 лет, в то время

как у девушек эти показатели снижаются. Показатели жизненной емкости легких достоверно увеличиваются в более старшем возрасте как у девушек, так и у юношей.

Таблица 2

Физиометрия тела

Показатели	Юноши 14 лет (n=39)	Девушки 14 лет (n=18)	Юноши 17 лет (n=25)	Девушки 17 лет (n=22)
Динамометрия правой кисти, кг	30,78± 2,51	25,1±1,27	39,62±6,20	24,28±0,19
Динамометрия левой кисти, кг	29,22±1,72	24,47±1,52	36,81±12,28	22,29±0,30
Становая тяга, кг	69,54±154,11	56,73± 5,55	114,52±18,35	55,35± 1,27
ЖЕЛ, л	3024,36±5,98	2507,77±3,14	3747,03±329,46	2897,50±31,82

Калиперометрия. Измерения толщины кожно-жировой складки у обследованных групп свидетельствуют о том, что в период с 14 до 17 лет наблюдается уменьшение показателей калиперометрии. Особенно выражены изменения у юношей в области плеча : показатель калиперометрии трицепса уменьшился на 41,67, бицепса – на 51,96%, у девущек – в области бедра верхней части –на 48,91%, нижней – 55,38% и полвздощной кости. В области лопатки изменения незначительны как у юношей, так и у девушек.

Таблица 3

Калиперометрия

Показатели	Юноши 14 лет (n=39)	Девушки 14 лет (n=18)	Юноши 17 лет (n=25)	Девушки 17 лет (n=22)
Трицепс,мм	27,80±0,608	20,76±2,84	14,55±2,61	13,11±11,55
Бицепс, мм	18,38±2,20	24,97±0,66	8,83±1,73	9,63±11,36
Передняя стенка живота, мм	21,21±0,84	22,51±0,20	23,13± 1,03	13,21±13,09
Верхняя часть ведра, мм	24,11±2,22	26,74±0,52	20,87±0,65	13,93±15,09
Нижняя часть бедра, мм	23,53±4,73	24,69±1,52	15,22±1,25	11, 03±12,73
Лопатка, мм	21,80±2,76	17,62±1,06	16,40±0	11,76±9,64
Подвздошная ость, мм	19,65±1,38	20,95±1,00	13,99±0,29	6,36±5,73

Исследование состава тела. Параллельная биоимпедансметрия показала, что у юношей и у девушек относительная масса жировой ткани в период от 14 к 16 годам повышается на 5,5 и 2,8%; тощая масса увеличивается у юношей на 14,9%, у девушек – уменьшается на 3%, однако скелетно-мышечная масса увеличивается у обоего пола - на 13,9 и 15,5% соответственно.

Таблица 4

Биоимпенсиометрия

Показатели	Юноши 14 лет (n=39)	Девушки 14 лет (n=18)	Юноши 17 лет (n=25)	Девушки 17 лет (n=22)
Жировая масса, кг	17,78±2,29	16,865±2,71	18,76±0,23	17,345±0,77
Тощая масса, кг	47,265±2,88	38,425±2,3	54,32±0,45	37,275±2,3
Скелетно-мышечная масса, кг	26,635±1,08	18,86±0,81	30,345±0,15	21,8±5,5
Доля скелетно-мышечной массы, %	55,34±1,78	49,3525±1,1	56,135±0,19	57,175±11,77

Таким образом, у юношей между ранним и поздним пубертантным возрастом, проживающих в Республике Саха (Якутия) происходит ростовой скачок, сопровождаемый увеличением массы тела и размеров тела. У девушек в этот возрастной период рост тела и масса тела увеличиваются незначительно, при этом наблюдается уменьшение параметров соотношения горизонтальных размеров туловища к

вертикальным. Эта особенность сопровождается у них снижением показателей динамометрии и становой тяги. У юношей наблюдается противоположная тенденция: к увеличению данных показателей. Однако, показатели ЖЕЛ увеличиваются у лиц обоего пола.

Измерения толщины кожно-жировой складки у обследованных групп свидетельствуют о том, что в период с 14 до 17 лет наблюдается уменьшение показателей калиперометрии, это подтверждается данными биоимпедансиометрии, где установлено, что в период роста масса скелетно – мышечной ткани увеличивается быстрее, чем жировой.

Таким образом, можно утверждать, что у школьников обоего пола в период от раннего к позднему пубертантному возрасту соматический рост сопровождается значительным увеличением костно-мышечной массы, снижением жировой массы. Следует отметить, что антропометрические показатели согласуются изменениями физиометрических данных, разброс данных у исследуемого контингента школьников минимален.

Наши данные не всегда подтверждаются аналогичными исследованиями, проведенными в разных регионах Российской Федерации. Так, у школьников коренной национальности Республики Тыва установлено, что длина и масса тела у мальчиков превалирует во все возрастные периоды, за исключением возраста пубертатного скачка у девочек. Пубертатный скачок роста у девочек отмечается раньше (11 - 13 лет), чем у мальчиков (14 - 15 лет). (Омзар, Ольга Серээевна). В исследованиях Учакиной показано, что у обследованных школьников, проживающих в Приамурье, темпы физического развития у детей коренного населения идут медленнее, чем у пришлого. У мальчиков коренного населения процессы нарастания длины тела, массы начинаются в более ранние сроки, протекают менее интенсивно, с максимальной активностью в начальном периоде пубертатного периода, завершаются к окончанию гормональной перестройки, также наблюдается резкое снижение темпов линейного роста после 16 лет, что свидетельствует о замедлении процессов акселерации мужского населения в регионе. Физическое развитие подростков, проживающих в средней полосе России характеризуется увеличением по мере взросления доли детей с гармоничным физическим развитием, увеличением доли девушек с дефицитом массы тела, ростом процента юношей с избытком массы тела. (3) Отмечено увеличение доли современных школьников с высокими и очень высокими, а также с низкими и очень низкими значениями длины и массы тела. В других исследованиях установлено, что значения показателей антропометрических и физиометрических характеристик юношей 17–20 лет зависит от типа телосложения, высокий рост обследованных сопровождается низкими значениями жизненного и силового индексов.(2) У всех обследованных юношей 17–20 лет отмечались увеличение длины и массы тела, объемов грудной клетки. В физиометрических характеристиках (ЖЕЛ и силы мышц обеих рук) прирост показателей отмечается в отдельных возрастных периодах.

Корреляционный анализ аналогичных исследований выявил сильную обратную связь между скоростью линейного роста и состоянием здоровья детей коренного и пришлого населения, свидетельствующую о высокой сопряженности этих процессов. (7)

Выводы:

1. У юношей и девушек, проживающих в Республике Саха (Якутия) в период от 14 до 17 лет наблюдается рост скелетно-мышечной и снижение жировой массы.
2. В период от 14 до 17 лет юношей достоверно увеличиваются показатели динамометрии и становой тяги, в то время как у девушек эти показатели снижаются. ЖЕЛ возрастает в обоих группах.

3. Необходимо продолжить исследования школьников разных возрастно-половых групп в с целью разработки стандартов физического развития специально для детей, проживающих в Республике Саха (Якутия).

***

1. Беликова Р.М. Методика проведения и оценка результатов антропометрических исследований / Р.М. Беликова, Н.К. Гайнанова, О.И. Пятунина. – Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2008. – С. 11-16, 26-35.
2. Колокольцев М.М. Антропометрическая и физиометрическая характеристика юношей 17–20 лет разных вариантов развития организма / М.М. Колокольцев // Современные проблемы науки и образования, 2017. – № 6.- С. 53
3. Манюхин А.И. Соматофизиологическая характеристика физического развития детей и подростков г. Самары : Автореф. дис. канд. биол. наук. – Самара, 2010. - 170 с.
4. Мельник В.А. Центильный метод оценки гармоничности физического развития школьников г. Гомеля / В.А. Мельник, Н.В. Козакевич, А.А. Козловский // Проблемы здоровья и экологии. - 2012. - №3 (33). – С. 17-22.
5. Омзар О.С. Индивидуально-типологическая характеристика роста и развития школьников коренного населения Республики Тыва: Автореф. дис. канд мед. наук. – Красноярск, 2010.- 122 с.
6. Современные представления о конституции человека и ее значение для медицины/ Е.В. Чаплыгина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.- С. 12-15
7. Учакина Р.В. Эколого-физиологическое обоснование гормонального статуса, физического и полового развития детей Дальневосточного региона: Автореф. дис. докт. биол. наук. – Хабаровск, 2006.- 271 с.

РАЗДЕЛ XXI. БИОЛОГИЯ

Карпова Г.А., Теплицкая Д.Г.

Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтез растений яровой мягкой пшеницы Экада 113 при использовании регуляторов роста

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»
(Россия, г. Пенза)

doi: 10.18411/lj-07-2019-89
idsp: ljournal-07-2019-89

Аннотация

В засушливых условиях 2018 года проведенными исследованиями показано, что регуляторы роста – рибав-Экстра и крезацин оказывают прямое положительное воздействие на ростовые процессы растений яровой мягкой пшеницы Экада 113. При активном увеличении листовой поверхности под действием изучаемых факторов возрастает фотосинтетический потенциал растений, сухая масса растений, изменяется чистая продуктивность фотосинтеза.

Ключевые слова: фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза, яровая мягкая пшеница, рибав-Экстра, эпин-Экстра, мивал-Агро, крезацин.

Abstract

In 2018 it was proved that such growth regulators as Ribav-extra and Kresacin have direct positive effect on the growth processes of Ekada 113 spring soft wheat plants. Photosynthetic potential, dry weight of a plant and photosynthesis productivity are increasing under the influence of the factors studied with active increase of plant's leaf surface.

Key words: photosynthetic potential, net photosynthesis productivity, soft spring wheat, Ribav-extra, Epin-extra, Mival-agro, Kresacin.

Изучение процессов формирования и функционирования аппарата фотосинтеза растений является актуальным, так как все мероприятия, направленные на увеличение фотосинтетической деятельности растений оказывают опосредованное влияние на их продуктивность.

Регулирование процессов роста в растениях в целом, так и отдельных его органов является одной из задач современной фитофизологии. Изменение листовой поверхности растений приводит неизменно к увеличению процесса фотосинтеза, который обеспечивает строительным материалом весь растительный организм. Создание активной ассимиляционной поверхности при использовании регуляторов роста в первую половину вегетационного периода может способствовать как повышению биологической продуктивности растений, так и хозяйственной продуктивности через перераспределение пластических веществ в растениях в период репродукции.

Целью проведенных исследований являлось изучение формирования и функционирования фотосинтетического аппарата растений яровой пшеницы сорта Экада113 в агроклиматических условиях Пензенской области при предпосевной обработке семян регуляторами роста: рибав-Экстра (0,3 мл/л), эпин-Экстра (0,5 мл/л), мивал-Агро (0,5 г/л), крезацин (1мл/л). Для изучения растений в период вегетации проводили закладку полевого опыта на коллекционном участке ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ» в 2018 году. Высевали семена 6 мая на делянки с площадью 1,5 м^2. Растения для анализа брали с площади 1м^2, которая являлась учетной. Норма высева составляла 550 шт. на 1 м^2. Размещение делянок в опыте рендомизированное. Каждый вариант был представлен в четырех повторностях. Фотосинтетический потенциал растений пшеницы определяли как за вегетационный период, так и по межфазным периодам. По фазам вегетации проводили определение сырой и сухой массы одного растения. Затем с учетом площади листовой поверхности одного растения вычисляли чистую продуктивность фотосинтеза. Все анализы проводили согласно общепринятым методикам [1].

По данным В.А. Кумакова величина фотосинтетического потенциала более точно, чем величина однократно измеренной площади листьев, характеризует мощность ассимиляционного аппарата посева в целом за вегетацию. Посевы (при благоприятных условиях) с площадью листьев 20-25 тыс. м^2/га при вегетационном периоде 85 дней имеют ФП около 800-900 тыс. м^2-сутки и урожайность 20-25 ц/га, а с площадью 40-50 тыс. м^2/га при вегетации 90 дней соответственно 1,5-2,0 млн. м^2-сутки и урожайность 35-40 ц/га. В острозасушливые годы с более коротким вегетационным периодом и меньшей площадью листовой поверхности фотосинтетический потенциал и урожайность падают. При площади листьев 10-12 тыс. м^2/га и продолжительности вегетационного периода 75 дней ФП посева составит около 300-350 тыс. м^2-сутки, а урожайность – не более 6-8 ц/га [2].

Растения пшеницы в проведенных исследованиях в условиях 2018 года в целом за вегетацию формировали величину фотосинтетического потенциала в пределах 907,76-1770,37 тыс. м^2-сутки. Наибольшие показатели отмечены в вариантах рибав-Экстра и крезацин, где превышение над контролем составило 82,8-87,2%. В варианте с использованием препарата мивал-Агро фотосинтетический потенциал увеличился на 38,6%. Эпин-Экстра не оказал влияния на изучаемый показатель.

Динамика формирования общего за вегетационный период фотосинтетического потенциала значительно зависела от климатических условий, что отражалось на показателях ФП межфазных периодов (таблица 1).

Величина ФП, как правило, повышается линейно до колошения или молочной спелости. В условиях 2018 года такая линейность отсутствовала. В период от всходов до кущения изучаемый показатель в контрольном варианте составлял 213,70 тыс.м^2-сутки, в период кущение-выход в трубку он снижался до 190,14 тыс. м^2-сутки, затем до фазы колошения вновь возрастал до 475,65 тыс. м^2-сутки. Аналогичная закономерность отмечена и в вариантах эпин-Экстра и мивал-Агро.

Снижение фотосинтетического потенциала в данных вариантах было обусловлено отсутствием осадков (ГТК-0,37) в данный период и, как следствие, его увеличившейся протяженностью (27 суток).

Таблица 1

Фотосинтетический потенциал растений яровой мягкой пшеницы Экада 113, тыс. м^2-сутки

Вариант	Период				
	всходы-кущение	кущениевыход в трубку	выход в трубку-колошение	колошениемолочная спелость	за вегетационный период
Контроль	213,70	190,14	475,65	66,13	945,63
Рибав-Экстра	330,38	391,97	880,13	125,96	1728,45
Эпин-Экстра	235,99	188,49	423,86	59,42	907,76
Мивал-Агро	341,60	273,39	601,25	94,82	1311,06
Крезацин	389,03	408,10	833,13	140,10	1770,37

В вариантах рибав-Экстра и крезацин динамика формирования фотосинтетического потенциала оставалась линейной. Хотя в период кущение-выход в трубку отмечено снижение темпов прироста.

В период от колошения до молочной спелости отмечено снижение показателей ФП по всем вариантам опыта. В данный период гидротермический коэффициент составлял 0,53, что способствовало более быстрому подсыханию и опадению нижних листьев, что закономерно происходит в период созревания зерна.

Таким образом, при использовании регуляторов роста рибав-Экстра и крезацин отмечено значительное положительное влияние изучаемых факторов на величину фотосинтетического потенциала растений пшеницы.

Согласно литературным данным, продуктивность растений хотя и связана с величинами фотосинтетического потенциала, но изменяется не всегда пропорционально,

что объясняется варьированием по годам продуктивности работы каждой единицы листовой поверхности [3].

Таким образом, объективными показателями фотосинтеза в растениях пшеницы могут явиться показатели нарастания сырой и сухой массы растений, как запасенного вещества в ходе процесса ассимиляции (таблица 2). Динамика нарастания сырой массы и сухой массы одного растения пшеницы по фазам развития несколько отличалась.

Таблица 2

Динамика формирования сухой массы растений яровой мягкой пшеницы Экада 113, г (одно растение)

Вариант	Фаза развития			
	кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость
Контроль	1,68±0,17	3,05±0,33	3,55±0,31	2,81±0,18
Рибав-Экстра	2,69±0,29	4,43±0,09	5,91±0,07	4,39±0,17
Эпин-Экстра	2,48±0,59	3,43±0,16	3,88±0,11	3,12±0,09
Мивал-Агро	2,58±0,27	3,94±0,16	5,41±0,10	4,21±0,10
Крезацин	2,96±0,26	4,53±0,27	6,31±0,25	4,84±0,32

Максимальные значения по сырой массе одного растения во всех вариантах опыта были зафиксированы в фазу колошения, тогда как по сухой массе – в фазу молочной спелости. Данная динамика накопления воздушно-сухого вещества растениями пшеницы обусловлена формированием зерен в колосе, протекающим после цветения растений до спелости и уборки урожая.

В вариантах мивал-Агро, рибав-Экстра и крезацин отмечено достоверное увеличение показателя сырой массы в фазу колошения на 52,4-77,7% и показателя сухой массы – на 43,3-93,3%. Максимальные значения зафиксированы в варианте с использованием препарата крезацин.

Показателем, объединяющим нарастание листовой поверхности и накоплением воздушно-сухого вещества является чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), которая в большей степени отражает продуктивность фотосинтетической деятельности растений.

В период кущение-выход в трубку показатели чистой продуктивности фотосинтеза находились в пределах 6,98-8,50 г/м^2·сутки по вариантам опыта. В период выход в трубку-колошение они составляли 1,59-3,66 г/м^2·сутки. Такая динамика ЧПФ может быть обусловлена высокой интенсивностью фотосинтеза в период активного роста листьев до выхода в трубку. В следующий период листья достигали предельных для них значений и потребности в ассимилятах покрывались достаточной площадью листа без интенсивной нагрузки на хлоропласт. При этом наименьшие значения ЧПФ фиксировались в вариантах с большей листовой поверхностью. В среднем за вегетацию чистая продуктивность фотосинтеза соответствовала 8,00-9,67г/м^2·сутки.

Проведенные исследования показали, что с учетом агроклиматических условий региона в 2018 году растения пшеницы сорта Экада113, районированного в Пензенской области имели недостаточную листовую поверхность. Фотосинтетический потенциал контрольных растений не достигал значений, для формирования возможной для этого сорта продуктивности. При использовании регуляторов роста рибав-Экстра и крезацин отмечено значительное повышение показателей фотосинтетического потенциала относительно контрольных данных. При этом в данных вариантах сохранялась линейная динамика формирования ФП в течение всего периода вегетации. Предельно возможная в условиях 2018 года листовая поверхность растений в вариантах с крезацином и рибавом-Экстра покрывала все необходимые потребности растений в ассимилятах без возрастающей нагрузки на единицу площади листа, о чем свидетельствовали показатели чистой продуктивности фотосинтеза.

***

1. Третьяков, Н.Н. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков. – М., КолосС, 2003. – 163 с.
2. Кумаков, В.А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии / В.А. Кумаков. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 104 с.
3. Кошкин Е. И., Гатаулина Г. Г., Дьяков А. Б. и др. Частная физиология полевых культур / Под ред. Е. И. Кошкина. – М.: КолосС, 2005. – 344 с.

Научный журнал

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
№52, 07.2019

Июль 2019 г.
Часть 4

SPLN 001-000001-0493-LJ

Подписано в печать 13.09.2019. Тираж 400 экз.
Формат.60x841/16. Объем уч.-изд. л.5,52
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Отпечатано в типографии НИЦ «Л-Журнал»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович