ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

Публикации для студентов, молодых ученых и научно-преподавательского состава на www.t-nauka.ru

ISSN 2500-1132 Издательский дом "Плутон" www.idpluton.ru

Выпуск №16

Кемерово 2017

30 октября 2017 г.
ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431
ISSN 2500-1140
УДК 378.001
Кемерово

Журнал выпускается ежемесячно, публикует статьи по естественным наукам. Подробнее на www.t-nauka.ru

За точность приведенных сведений и содержание данных, не подлежащих открытой публикации, несут ответственность авторы.

Редкол.:

Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала.

Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей.

Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей.

Зимина Мария Игоревна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей.

Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инжинерно-строительный институт (НамМПИ)

Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И .Платова,

Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении.

Шушлебин Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета.

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими.

Крутякова Маргарита Викторовна – доцент кандидат технических наук, Московский политехнический университет.

Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища

А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Естественнонаучный журнал «Точная наука», входящий в состав «Издательского дома «Плутон», был создан с целью популяризации естественных наук. Мы рады приветствовать студентов, аспирантов, преподавателей и научных сотрудников. Надеемся подарить Вам множество полезной информации, вдохновить на новые научные исследования.

Издательский дом «Плутон» www.idpluton.ru e-mail: admin@idpluton.ru
Подписано в печать 30.10.2017 г.
Формат 14,8×21 1/4. | Усл. печ. л. 2.2. | Тираж 500.

Все статьи проходят рецензирование (экспертную оценку).

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.
Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.
Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.
При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна.

Содержание

1. К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА И ВИДА ДВИЖЕНИЯ ТОЧКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЗАДАНИЯ ДВИЖЕНИЯ……..….2
Подобед С.А.
2. К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН……10
Алехин С.Н., Алехин А.С., Садовниченко Е.С., Никишин В.В.
3. АНАЛИЗ ПРИЧИН ЗАСОРЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ФИЛЬТР-ОСУШИТЕЛЕЙ КОНДИЦИОНЕРОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ……..……..…….....14
Кожемяченко А.В., Лемешко М.А., Маслов О.С., Никишин В.В.
4. ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ГЕРМЕТИЧНОГО АГРЕГАТА МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН……..……...……22
Кожемяченко А.В., Лемешко М.А., Маслов О.С., Никишин В.В.
5. ВОЗВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ЧИСЛА В СТЕПЕНЬ……26
Шамсетдинова Л.З.

Подобед Станислав Александрович
Podobed Stanislav Aleksandrovich
Преподаватель теоретической механики
Кафедра горного и нефтегазового дела
Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова в г. Мирном
E-mail: podobedsa@mail.ru

УДК 531.12

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРА И ВИДА ДВИЖЕНИЯ ТОЧКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЗАДАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

TO THE METHODS OF DETERMINING THE CHARACTER AND KIND OF MOTION OF A POINT UNDER VARIOUS WAYS OF PRESENTING MOTION

Аннотация: В данной статье рассмотрена методика определения характера и вида движения точки при векторном и координатном (криволинейная система координат) способах задания движения.

Abstract: In this article, a method for determining the character and kind of motion of a point is considered, using the vector method and using the coordinate method (system of curvilinear coordinates), which are setting motion of a point.

Ключевые слова: теоретическая механика, кинематика точки, классификация движения точки, способы задания движения точки, характеристики движения точки.

Key words: theoretical mechanics, kinematics of a point, classification of motion of a point, ways to set motion of a point, characteristics of motion of a point.

Введение

Приобретение прочных знаний по теоретической механике, в частности, по кинематике точки, становится возможным только при глубоком изучении теории и решении задач. Большинство задач по кинематике точки требует определения характера движения точки (замедленное, равномерное, ускоренное) и вида движения точки (прямолинейное, криволинейное). Но так как, с одной стороны, изучение механического движения точки начинается со способов задания ее движения, то для каждого из них должна быть прописана методика определения характера и вида движения точки; с другой стороны, наличие в статье методического материала по этой теме позволит исследователю механического движения покрыть возможный дефицит учебно-методической литературы, сэкономит время и трудовые затраты при решении задач и усвоении теоретического материала по кинематике точки.

§1. Состояние проблемы

Темой «Классификация движения точки по ускорениям ее движения» [6,143] даются геометрические условия, определяющие вид и характер движения точки для некоторого промежутка времени, для всех способов задания движения. В учебно-методической литературе по теоретической механике приводится методика определения характера и вида движения точки в зависимости от значений ее нормального и касательного ускорений на некотором промежутке времени только при естественном и координатном (прямоугольная система координат) способах задания движения [1,142; 2,20; 3,43; 4,111; 5,143; 6,141]. Изложить методический материал по определению характера и вида движения точки на некотором промежутке времени для векторного и координатного (криволинейные координаты) способов задания движения – цель данной работы.

§2. Методика определения характера и вида движения точки при векторном и координатном (криволинейная система координат) способах задания движения

Геометрические условия, определяющие характер и вид движения точки на некотором промежутке времени, одинаковы при всех способах задания движения, но аналитические условия и формулы для вычисления проекций вектора полного ускорения $\vec{a}$ на главную нормаль a_n и на направление касательной a_τ, модуля вектора скорости $\vec{V}_\tau$ для векторного и координатного способов задания движения другие. Для естественного способа задания движения проекция вектора

скорости $\vec{V}$ на касательную вычисляется как первая производная от дуговой координаты $V_\tau = \dot{\sigma}$, а модуль вектора скорости равен ее абсолютной величине; проекция вектора полного ускорения $\vec{a}$ на касательную вычисляется как вторая производная от дуговой координаты $a_\tau = \ddot{\sigma}$, проекция полного ускорения $\vec{a}$ на главную нормаль вычисляется по формуле $a_n = V^2 / \rho$, в которой V – модуль вектора скорости, ρ – радиус кривизны траектории в рассматриваемой точке.

2.1. При векторном способе задания движения положение точки в пространстве определяется радиус-вектором $\vec{r} = \vec{r}(t)$ как функцией времени:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}, \tag{2.1}$$

где $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$ – проекции радиус-вектора $\vec{r}$ на оси прямоугольных (декартовых) координат O*x*, O*y*, O*z*.

Аналитические условия, определяющие характер движения точки на некотором промежутке времени при векторном способе задания движения, сводятся к вычислению проекции вектора полного ускорения $\vec{a}$ на касательную a_τ (касательное ускорение) и учету знака этой проекции. Действительно, принимая единичный вектор $\vec{\tau}$ касательной, равным $\vec{\tau} = \vec{V} / V$ и направленным по вектору скорости, запишем скалярное произведение двух векторов $\vec{a}$, $\vec{\tau}$ и произведем анализ полученного выражения:

$$\vec{a} \cdot \vec{\tau} = a \cdot 1 \cdot \cos\alpha = a_\tau, \tag{2.2}$$

где a – модуль вектора $\vec{a}$; α – угол между направлениями векторов $\vec{a}$ и $\vec{\tau}$;

Если угол α острый, тогда $\cos\alpha > 0$ и $a_\tau > 0$. Направление векторов $\vec{a}_\tau$ и $\vec{V}$ одинаковое, движение точки ускоренное (рис. 2.1,а).

Если угол α тупой, тогда $\cos\alpha < 0$ и $a_\tau < 0$. Направление векторов $\vec{a}_\tau$ и $\vec{V}$ противоположное, движение точки замедленное (рис. 2.1,б).

а) б)

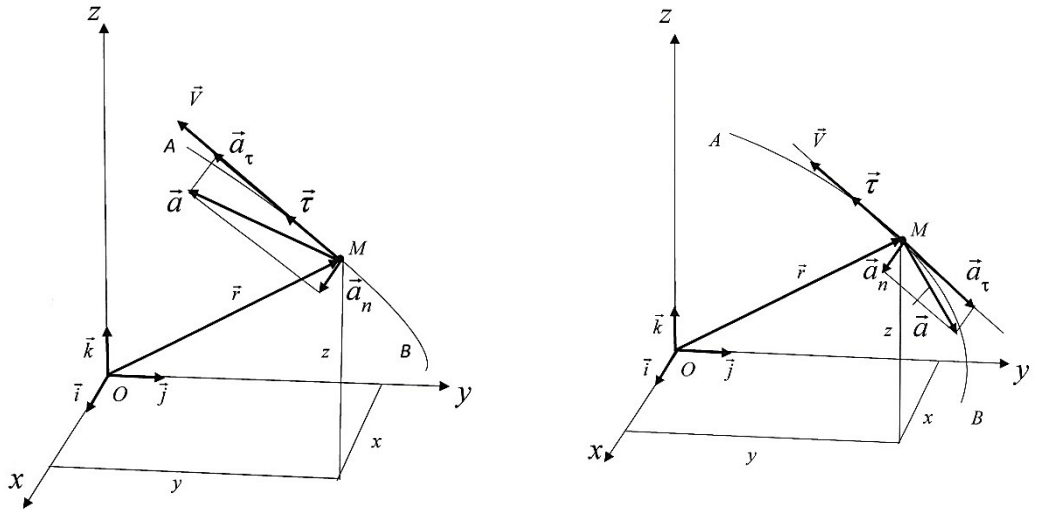


Рис. 2.1

Подставляя $\vec{\tau} = \vec{V} / V$ в выражение (2.2) и вычисляя скалярное произведение векторов $\vec{a}$ и $\vec{V}$ через сумму произведений их одноименных проекций на оси декартовых координат, деленную на модуль вектора скорости, получим формулу для вычисления a_τ:

$$a_\tau = \vec{a}\cdot\vec{\tau} = \vec{a}\cdot\frac{\vec{V}}{V} = \frac{\vec{a}\cdot\vec{V}}{V} = \frac{a_x V_x + a_y V_y + a_z V_z}{V} = \frac{\dot{x}\ddot{x}+\dot{y}\ddot{y}+\dot{z}\ddot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2+\dot{y}^2+\dot{z}^2}},$$

(2.3) где $\vec{a}\cdot\vec{\tau}$ – скалярное произведение векторов $\vec{a}$ и $\vec{\tau}$; $\vec{a}\cdot\vec{V}$ – скалярное произведение векторов $\vec{a}$ и $\vec{V}$.

$V_x=\dot{x}$, $V_y=\dot{y}$, $V_z=\dot{z}$ – проекции вектора скорости $\vec{V}$ на оси координат, равные первым производным по времени от соответствующих проекций радиус-вектора $\vec{r}$ (подставляются в формулу (2.3) со своими знаками);

$a_x=\ddot{x}=\dot{V}_x$, $a_y=\ddot{y}=\dot{V}_y$, $a_z=\ddot{z}=\dot{V}_z$ – проекции вектора полного ускорения $\vec{a}$ на оси координат, равные вторым производным по времени от соответствующих проекций радиус-вектора $\vec{r}$ или первым производным по времени от соответствующих проекций вектора скорости $\vec{V}$ (подставляются в формулу (2.3) со своими знаками);

V – модуль вектора скорости, определяемый по формуле: $V = \sqrt{\dot{x}^2+\dot{y}^2+\dot{z}^2}$.

Аналитические условия, определяющие вид движения точки на некотором промежутке времени, сводятся к вычислению проекции полного ускорения $\vec{a}$ на главную нормаль a_n (нормальное ускорение); формулу для вычисления a_n получаем исходя из выражения (2.4), подстановкой в него $\vec{\tau} = \vec{V}/V$:

$$|\vec{a}\times\vec{\tau}|=a\cdot 1\cdot\sin\alpha=a_n,$$

$$a_n=|\vec{a}\times\vec{\tau}|=\frac{|\vec{a}\times\vec{V}|}{V} = \frac{1}{V}\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ \ddot{x} & \ddot{y} & \ddot{z}\\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z}\end{vmatrix} = \frac{1}{V}\left|\vec{i}(\dot{z}\ddot{y}-\dot{y}\ddot{z})+\vec{j}(\dot{x}\ddot{z}-\dot{z}\ddot{x})+\vec{k}(\dot{y}\ddot{x}-\dot{x}\ddot{y})\right|,$$

(2.4)

$$a_n = \frac{\sqrt{(\dot{z}\ddot{y}-\dot{y}\ddot{z})^2+(\dot{x}\ddot{z}-\dot{z}\ddot{x})^2+(\dot{y}\ddot{x}-\dot{x}\ddot{y})^2}}{\sqrt{\dot{x}^2+\dot{y}^2+\dot{z}^2}},$$

(2.5)

где $|\vec{a}\times\vec{\tau}|$ – модуль векторного произведения векторов $\vec{a}$ и $\vec{\tau}$;

$|\vec{a}\times\vec{V}|$ – модуль векторного произведения векторов $\vec{a}$ и $\vec{V}$

$\vec{i},\vec{j},\vec{k}$ – единичные векторы осей O*x*, O*y*, O*z* (орты).

П р и м е ч а н и е – Для вычисления касательного ускорения a_τ и нормального ускорения a_n при координатном (прямоугольная система координат) способе задания движения используются формулы (2.4) и (2.5), так как проекции радиус-вектора рассматриваемой точки на декартовы оси координат равны ее координатам.

2.2. Установим аналитические условия, определяющие характер и вид движения точки на некотором промежутке времени при задании движения ортогональными криволинейными координатами, т.е. такими у которых координатные оси взаимно перпендикулярны; при этом установим общие формулы для вычисления проекций полного ускорения $\vec{a}$ на главную нормаль a_n и на касательную к траектории точки a_τ при задании движения криволинейными координатами (полярными, цилиндрическими, сферическими).

При задании движения точки криволинейными координатами q_1,q_2,q_3, радиус-вектор $\vec{r}$, определяющий положение точки M в пространстве, является функцией координат q_1,q_2,q_3:

$$\vec{r}=\vec{r}(q_1,q_2,q_3).$$

(2.6)

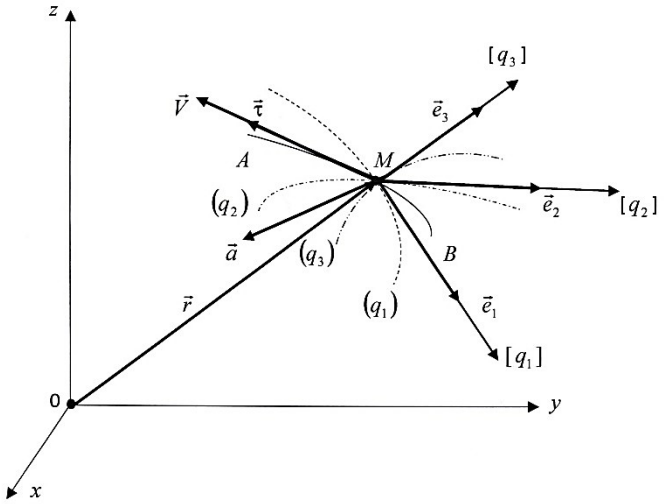


Рис. 2.2

Проекции радиус-вектора $\vec{r}$ на оси декартовой системы координат будут также функциями координат q_1, q_2, q_3:

$$x = x(q_1, q_2, q_3), \quad y = y(q_1, q_2, q_3), \quad z = z(q_1, q_2, q_3)$$

(2.7)

Координатные оси [q_1], [q_2], [q_3] изображаются касательными к координатным линиям, проведенными в точке M; положительное направление координатных осей задается единичными (базисными) векторами $\vec{e}_1$, $\vec{e}_2$, $\vec{e}_3$, направленными в сторону возрастания соответствующих координат (рис. 2.2).

Проекции вектора скорости $\vec{V}$ (V_{q_1}, V_{q_2}, V_{q_3}) и проекции вектора полного ускорения $\vec{a}$ ($a_{q_1}, a_{q_2}, a_{q_3}$) на координатные оси [q_1], [q_2], [q_3] определяются следующими формулами [1,154]:

$$V_{q_1} = \dot{q}_1 \cdot H_1, \quad V_{q_2} = \dot{q}_2 \cdot H_2, \quad V_{q_3} = \dot{q}_3 ¿ H_3,$$

(2.8)

$$a_{q_1} = \frac{1}{H_1}\left\{\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial}{\partial \dot{q}_1}\left(\frac{V^2}{2}\right)\right] - \frac{\partial}{\partial q_1}\left(\frac{V^2}{2}\right)\right\},$$

$$a_{q_2} = \frac{1}{H_2}\left\{\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial}{\partial \dot{q}_2}\left(\frac{V^2}{2}\right)\right] - \frac{\partial}{\partial q_2}\left(\frac{V^2}{2}\right)\right\},$$

$$a_{q_3} = \frac{1}{H_3}\left\{\frac{d}{dt}\left[\frac{\partial}{\partial \dot{q}_3}\left(\frac{V^2}{2}\right)\right] - \frac{\partial}{\partial q_3}\left(\frac{V^2}{2}\right)\right\},$$

(2.9)

где $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3$ – первые производные по времени от криволинейных координат q_1, q_2, q_3; V – модуль вектора скорости, определяемый по формуле

$$V = \sqrt{\dot{q}_1^2 H_1^2 + \dot{q}_2^2 H_2^2 + \dot{q}_3^2 H_3^2},$$

(2.10)

H_1, H_2, H_3 – коэффициенты Ламе, вычисляемые по формулам:

$$H_1=\sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial q_1}\right)^2+\left(\frac{\partial y}{\partial q_1}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial q_1}\right)^2},$$

$$H_2=\sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial q_2}\right)^2+\left(\frac{\partial y}{\partial q_2}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial q_2}\right)^2},$$

$$H_3=\sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial q_3}\right)^2+\left(\frac{\partial y}{\partial q_3}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial q_3}\right)^2}.$$

(2.11)

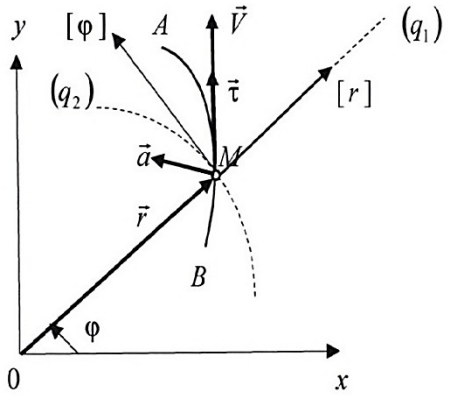


Рис. 2.3

На основании (2.8), (2.9), (2.10), (2.11) получены формулы [1, 55] для вычисления модуля и проекций вектора скорости $\vec{V}$, а также проекций вектора полного ускорения $\vec{a}$ на оси полярной системы координат [q_1] = [r], [q_2] = [φ] (рис. 2.3),

на оси цилиндрической системы [q_1] = [ρ], [q_2] = [ϕ], [q_3] = [z] (рис. 2.4),

на оси сферической системы [q_1] = [r], [q_2] = [ϕ], [q_3] = [θ] (рис. 2.5).

Проекции вектора скорости $\vec{V}$ на оси полярной системы координат и его модуль вычисляются по формулам:

$$V_{q_1}=V_r=\dot{r},\quad V_{q_2}=V_\phi=r\dot{\phi},$$

$$V=\sqrt{V_r^2+V_\phi^2}=\sqrt{\dot{r}^2+r^2\dot{\phi}^2}, \qquad (2.12)$$

где $r = r(t)$ – полярный радиус; $\phi = \phi(t)$ – полярный угол.

Рис. 2.4

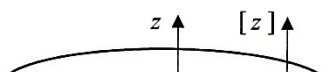
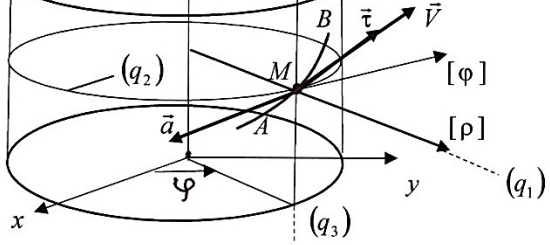
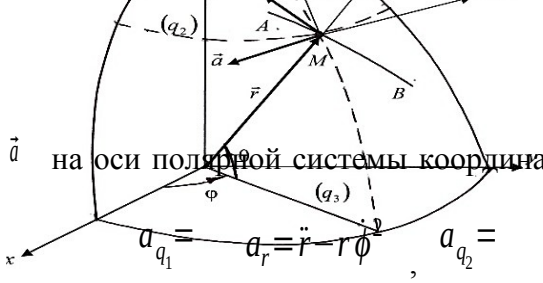


Рис. 2.5





$\vec{a}$ на оси полярной системы координат вычисляются

$$a_{q_1} = a_r = \ddot{r} - r\dot{\phi}^2, \quad a_{q_2} = a_\phi = r\ddot{\phi} + 2\dot{r}\dot{\phi}.$$

(2.13)

Проекции вектора скорости $\vec{V}$ на оси цилиндрической системы координат и его модуль вычисляются по формулам:

$$V_{q_1} = V_\rho = \dot{\rho}, \quad V_{q_2} = V_\phi = \rho\dot{\phi}, \quad V_{q_3} = V_z = \dot{z}, \quad V = \sqrt{V_\rho^2 + V_\phi^2 + V_z^2} = \sqrt{\dot{\rho}^2 + \rho^2\dot{\phi}^2 + \dot{z}^2}$$

(2.14)

где $\rho = \rho(t)-$ полярный радиус; $\phi = \phi(t)-$ полярный угол; $z = z(t)-$ аппликата.

Проекции вектора полного ускорения $\vec{a}$ на оси цилиндрической системы координат:

$$a_{q_1} = a_\rho = \ddot{\rho} - \rho\dot{\phi}^2, \quad a_{q_2} = a_\phi = \rho\ddot{\phi} + 2\dot{\rho}\dot{\phi}, \quad a_{q_3} = a_z = \ddot{z}.$$

(2.15)

Проекции вектора скорости $\vec{V}$ на оси сферической системы координат и его модуль вычисляются по формулам:

$$V_{q_1} = V_r = \dot{r}, \quad V_{q_2} = V_\phi = r\dot{\phi}\cos\theta, \quad V_{q_3} = V_\theta = r\dot{\theta},$$

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_\phi^2 + V_\theta^2} = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2\dot{\phi}^2\cos^2\theta + r^2\dot{\theta}^2},$$

(2.16)

где $r = r(t)-$ модуль радиус-вектора точки $\vec{r}$; $\phi = \phi(t)-$ азимутальный угол; $\theta = \theta(t)-$ зенитный угол.

Проекции вектора полного ускорения $\vec{a}$ на оси сферической системы координат:

$$a_{q_1} = a_r = \ddot{r} - r\dot{\phi}^2\cos^2\theta - r\dot{\theta}^2,$$

$$a_{q_2} = a_\phi = r\ddot{\phi}\cos\theta + 2\dot{r}\dot{\phi}\cos\theta - 2r\dot{\phi}\dot{\theta}\sin\theta,$$

$$a_{q_3} = a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} + r\dot{\phi}^2\sin\theta\cos\theta.$$

(2.17)

Аналитические условия, определяющие характер и вид движения точки при задании движения криволинейными координатами, сводятся к вычислению проекции вектора полного ускорения $\vec{a}$ на касательную к траектории точки a_τ (касательное ускорение), вычислению проекции вектора $\vec{a}$ на главную нормаль a_n (нормальное ускорение) и учету знака a_τ.

Из анализа выражения $\vec{a} \cdot \vec{\tau} = a \cdot 1 \cdot \cos\alpha = a_\tau$ (2.2) следует, что если a_τ больше нуля, то угол α между вектором полного ускорения $\vec{a}$ и единичным вектором касательной к траектории точки $\vec{\tau}$, совпадающим с вектором скорости $\vec{V}$, острый; в этом случае вектор касательного ускорения $\vec{a}_\tau$ и вектор скорости V направлены в одну сторону. Движение точки ускоренное (рис. 2.1, а; 2.3; 2.5).

Если касательное ускорение a_τ меньше нуля, то угол α между вектором полного ускорения $\vec{a}$ и единичным вектором касательной к траектории точки $\vec{\tau}$ тупой; в этом случае вектор касательного ускорения $\vec{a}_\tau$ и вектор скорости V направлены в противоположные стороны. Движение точки замедленное (рис. 2.1, б; 2.4).

Касательное ускорение a_τ вычисляется применением скалярного произведения двух векторов $\vec{a} \cdot \vec{\tau}$ через их проекции по формуле (2.18). Нормальное ускорение a_n определяется при

вычислении модуля векторного произведения двух векторов $|\vec{a}\times\vec{\tau}|$ по формуле (2.19), имея в виду, что единичный вектор касательной $\vec{\tau}=\vec{V}/V$:

$$a_\tau = \vec{a}\cdot\vec{\tau} = \vec{a}\cdot\frac{\vec{V}}{V} = \frac{\vec{a}\cdot\vec{V}}{V} = \frac{a_{q_1}V_{q_1}+a_{q_2}V_{q_2}+a_{q_3}V_{q_3}}{\sqrt{V_{q_1}^2+V_{q_2}^2+V_{q_3}^2}},$$

(2.18)

$$a_n=|\vec{a}\times\vec{\tau}|=\frac{|\vec{a}\times\vec{V}|}{V} = \frac{1}{V}\begin{vmatrix} e_1 & \vec{e}_2 & \vec{e}_3 \\ a_{q_1} & a_{q_2} & \vec{a}_{q_3} \\ V_{q_1} & V_{q_2} & V_{q_3}\end{vmatrix} =$$

$$\frac{1}{V}\left|\vec{e}_1\left(V_{q_3}a_{q_2}-V_{q_2}a_{q_3}\right)+\vec{e}_2\left(V_{q_1}a_{q_3}-V_{q_3}a_{q_1}\right)+\vec{e}_3\left(V_{q_2}a_{q_1}-V_{q_1}a_{q_2}\right)\right|,$$

$$a_n=\frac{\sqrt{\left(V_{q_3}a_{q_2}-V_{q_2}a_{q_3}\right)^2+\left(V_{q_1}a_{q_3}-V_{q_3}a_{q_1}\right)^2+\left(V_{q_2}a_{q_1}-V_{q_1}a_{q_2}\right)^2}}{\sqrt{V_{q_1}^2+V_{q_2}^2+V_{q_3}^2}},$$

(2.19)

где $\vec{e}_1,\vec{e}_2,\vec{e}_3$ – единичные (базисные) векторы координатных осей [q_1], [q_2], [q_3].

$V_{q_1},V_{q_2},V_{q_3}V-$ проекции и модуль вектора скорости $\vec{V}$ на координатные оси, вычисляемые по формулам:

для полярной системы координат (2.12); для цилиндрической системы координат (2.14); для сферической системы координат (2.16).

$a_{q_1},a_{q_2},a_{q_3}-$ проекции вектора ускорения $\vec{a}$ на координатные оси, вычисляемые по формулам:

для полярной системы координат (2.13); для цилиндрической системы координат (2.15); для сферической системы координат (2.17).

Условия, определяющие характер и вид движения точки при векторном и координатном способах задания движения, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические и аналитические условия характера и вида движения точки при векторном и координатном способах задания движения

Геометрические условия		Аналитические условия	Характер и вид движения точки
1	2	3	4
$\vec{a}_n=0$, $\vec{a}_\tau=0$	Вектор $\vec{V}$ не изменяется ни по модулю ни по направлению	$a_n=0$, $a_\tau=0$	равномерное, прямолинейное
$\vec{a}_n$ ¿ 0,	Вектор $\vec{V}$ изменяется только по направлению. Вектор $\vec{a}_n$ перпендикулярен вектору $\vec{V}$	a_n ¿ 0, $a_\tau=0$	равномерное, криволинейное

$\vec{a}_\tau = 0$			
$\vec{a}_n = 0$, $\vec{a}_\tau$ ¿ 0	Вектор $\vec{V}$ изменяется только по модулю Вектор $\vec{a}_\tau = \text{const}$	$a_n = 0$, a_τ ¿ 0 $a_\tau = \text{const}$	равнопеременное, прямолинейное
	Вектор $\vec{V}$ изменяется только по модулю. Направление вектора $\vec{a}_\tau$ совпадает с направлением вектора $\vec{V}$	$a_n = 0$, a_τ ¿ 0 $a_\tau > 0$	ускоренное, прямолинейное
	Вектор $\vec{V}$ изменяется только по модулю. Направление вектора $\vec{a}_\tau$ противоположно направлению вектора $\vec{V}$	$a_n = 0$, a_τ ¿ 0 $a_\tau < 0$	замедленное, прямолинейное
$\vec{a}_n \neq 0$, $\vec{a}_\tau \neq 0$	Вектор $\vec{V}$ изменяется по модулю и по направлению. Вектор $\vec{a}_\tau = \text{const}$	a_n ¿ 0, a_τ ¿ 0 $a_\tau = \text{const}$	равнопеременное, криволинейное
	Вектор $\vec{V}$ изменяется по модулю и по направлению. Направление вектора $\vec{a}_\tau$ совпадает с направлением вектора $\vec{V}$	a_n ¿ 0, a_τ ¿ 0 $a_\tau > 0$	ускоренное, криволинейное
$\vec{a}_n \neq 0$, $\vec{a}_\tau \neq 0$	Вектор $\vec{V}$ изменяется по модулю и по направлению. Направление вектора $\vec{a}_\tau$ противоположно направлению вектора $\vec{V}$	a_n ¿ 0, a_τ ¿ 0 $a_\tau < 0$	замедленное, криволинейное

Заключение

1. В статье представлен методический материал по определению характера и вида движения точки для векторного и координатного (криволинейные координаты) способов задания движения.

2. В статье даются общие формулы для вычисления проекций вектора полного ускорения точки на касательную и на главную нормаль при задании движения криволинейными координатами

(полярными, цилиндрическими, сферическими), дан вывод формул для вычисления касательного и нормального ускорений при векторном способе задания движения, что определяет ее новизну.

3. Для наглядности и удобства использования результатов исследования связь между количественными и качественными определенностями механического движения точки при векторном и координатном (криволинейные координаты) способах задания движения представлена таблицей 1.

4. Данная статья актуальна из-за потребности в методическом материале при исследовании механического движения точки и при самостоятельном изучении кинематики точки.

Библиографический список:

1. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. В двух томах. 11-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 736 с.

2. Богомаз И.В. Теоретическая механика. Т.1. Кинематика. Статика.Тексты лекций / И.В. Богомаз. – М.: АСВ, 2005. – 190 с.

3. Курс теоретической механики: Учебник для вузов/В.И. Дронг, В.В. Дубинин, М.М. Ильин, К.С. Колесников, В.А. Космодемьянский, Б.П. Назаренко, А.А. Панкратов, П.Г. Русанов, Ю.С. Саратов, Ю.М. Степанчук, Г.М. Тушева, П.М. Шкапов; Под. общ. ред. К.С. Колесникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.–736с.

4. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов. – 11е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2005. – 416 с.

5. Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Коваленко М.В., Федорченко Н.П., Фисенко Н.И. Теоретическая механика: 3-е изд., исправл., доп. – М.: Изд-во ТрансЛит, 2015.-560 с.

6. Яблонский А.А. Курс теоретической механики: Учебник /А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. - 16-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2011.–608с.

Алехин Сергей Николаевич
Кандидат технических наук, доцент. Кафедра «Технические системы ЖКХ и сферы услуг» ИСОиП (филиала) ДГТУ в г. Шахты
Alekhin Sergey Nikolaevich
The candidate of technical Sciences, associate Professor. The Department "technology of system utilities and services" ISOiP (branch) of DSTU in Shakhty

Алехин Алексей Сергеевич
Кандидат технических наук, доцент. Кафедра «Технические системы ЖКХ и сферы услуг» ИСОиП (филиала) ДГТУ в г. Шахты
Alekhin Alexey Sergeyevich
The candidate of technical Sciences, associate Professor. The Department "technology of system utilities and services" ISOiP (branch) of DSTU in Shakhty

Садовниченко Екатерина Сергеевна
Аспирант. Кафедра «Технические системы ЖКХ и сферы услуг», ИСОиП (филиала) ДГТУ в г. Шахты
Sadovnichenko Ekaterina Sergeyevna
Post-graduate student. The Department "technology of system utilities and services", ISOiP (branch) of DSTU in Shakhty

Никишин Владислав Викторович
Студент 4 курса группы ТМО-Тb41, ИСОиП (филиала) ДГТУ в г. Шахты
Nikishin Vladislav Viktorovich
Student of the 4th course group TMO-Tb41, ISOiP (branch) of DSTU in Shakhty
E-mail: ni.nikishin@yandex.ru

УДК 648.322

К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН

TO THE QUESTION ABOUT CURRENT TRENDS IN THE FIELD OF ANTI-VIBRATION WASHING MACHINES

Аннотация: в статье сделана попытка оценки современных взглядов на актуальность борьбы с вибрацией стиральных машин и необходимость проведения более глубоких научных исследований их динамики и разработки эффективных средств виброзащиты. Приведен краткий анализ отечественных и зарубежных отзывов и материалов по данной теме, сделаны соответствующие выводы.

Abstract: the article is an attempt to assess the modern views on the relevance of vibration control of washing machines and the need for more in-depth research of their dynamics and developing effective means of vibration protection. A brief analysis of the domestic and foreign opinions and materials on the subject and made appropriate conclusions.

Ключевые слова: стиральные машины, виброактивность, виброзащита, потребители стиральных машин, отзывы о стиральных машинах.

Keywords: washing machines, vibroactivity protection, consumers of washing machines, reviews on washing machines.

Одним из наиболее массовых и востребованных изделий в сфере услуг и ЖКХ являются стиральные машины. Современные стиральные машины позволяют выполнять комплекс операций по обработке текстильных материалов, основные из которых: стирка, полоскание и центробежный отжим.

Одной из наиболее ответственных операций является отжим изделий, основные проблемы реализации которого связаны со значительными динамическими нагрузками, воздействующими на сборочные единицы стиральных машин. Следует указать, что причины, вызывающие переменные возмущающие силы, являются практически неустранимыми, так как образование неуравновешенности стирального барабана является случайным процессом и обусловливается неравномерным распределением белья по обечайке барабана в каждом цикле процесса центробежного отжима текстильных изделий.

Для защиты машин от значительных вибраций при отжиме практически во всех стиральных машинах используют систему виброизоляции, которая позволяет значительно снизить виброактивность машин. Вместе с тем, использование виброизоляции не позволяет решить проблему борьбы с вибрацией полностью, так как при этом не устраняется сама причина вибрации, то есть источник вибрации – неуравновешенность стирального барабана.

Следует указать, что кроме системы виброизоляции применяют и другие средства виброзащиты. В частности, использование автобалансирующих устройств (АБУ) позволяет производить уравновешивание неуравновешенных масс текстильных изделий, образующихся в результате неравномерного распределения изделий по обечайке стирального барабана.

Принято считать, что АБУ являются эффективным дополнительным средством, применяемым наряду с системой виброизоляции. Вместе с тем, практически все конструкции АБУ не позволяют полностью уравновешивать неуравновешенные массы текстильных изделий. Кроме этого, использование АБУ значительно усложняет конструкцию и себестоимость стиральных машин. Это является одной из основных причин, препятствующей широкому использованию АБУ в стиральных машинах.

Анализ конструкций современных стиральных машин показал, что АБУ чаще всего используются в стиральных машинах высокой ценовой категории. Наиболее широко распространенные «бюджетные» стиральные машины в качестве средств виброзащиты используют, в основном, только лишь систему виброизоляции.

Таким образом, вопрос снижения виброактивности стиральных машин при отжиме, несмотря на последние достижения в области теории колебаний и виброзащитных систем, в настоящее время не потерял своей актуальности.

Вместе с тем, как показал анализ научных публикаций, а также публичных выступлений как на различных научных форумах, в том числе, на научных площадках Интернет-ресурсов, отношение к вопросу актуальности борьбы с вибрацией стиральных машин в настоящее время является неоднозначным.

Анализ зарубежных и отечественных научных публикаций показал, что в отечественном научном мире отношение к данной проблеме скорее «холодное», сдержанное. Одним из аргументов этого, зачастую, являются приводимые доводы, что в реальности во многих случаях практически не наблюдаются значительные вибрации стиральных машин при отжиме.

Этим доводам можно привести следующие объяснения такой точки зрения.

Во-первых, при использовании в стиральных машинах противовесов со значительной массой, естественно, будут наблюдаться более низкие значения амплитуд колебаний стиральных машин, что, зачастую, и используют заводы-изготовители при их производстве. Однако, это приводит к тому, что динамические нагрузки при этом концентрируются, в основном, в подшипниковой опоре стирального барабана, что приводит к ее быстрому износу и повышению расхода электроэнергии, а также ведет к повышению массы машины, из-за чего усложняются монтажные работы и повышается себестоимость машины.

Во-вторых, проблемы стиральных машин порою выглядят, по мнению ряда ученых, незначительными по сравнению с более глобальными проблемами в промышленности и экономики страны, в частности, в сравнении с проблемами в турбостроении, самолетостроении, кораблестроении и т.п.

В свою очередь, анализ зарубежных научных публикаций по данной проблематике показал, что здесь преобладает другая точка зрения на степень актуальности борьбы с вибрацией стиральных машин. В действительности в настоящее время в зарубежных научных изданиях опубликовано значительное число работ, посвященных вопросам снижения виброактивности стиральных машин при отжиме. Причем, обзор и анализ опубликованных работ показал высокий уровень проведенных авторами исследований, так и экспериментальныхисследований.

Таким образом, очевидно, что проблема снижения виброактивности стиральных машин, вопреки сложившемся некоторым взглядам в отечественном научном мире, находится на переднем крае процесса совершенствования конструкций стиральных машин.

В подтверждение представленных выше доводов приведем также далее отзывы потребителей стиральных машин и их высказывания о проблеме, связанной с вибрацией стиральных машин.

Так, на рис.1 приведен в качестве примера фрагмент одного из сайтов Германии, на котором представлены отзывы потребителей об уровне виброактивности используемых в домашнем хозяйстве стиральных машин.

Рисунок 1- Фрагмент отзыва с сайта Германии «gutefrage»

Ниже приведем часть некоторых переводов текстов высказываний потребителей стиральных машин в Германии:

- «Стиральная машина очень сильно вибрирует, что я могу с этим поделать? Каждый раз мне приходится отодвигать стиральную машину в ванной от стены, потому что она постоянно к ней прижимается и царапает плитку. Что я могу сделать против этих вибраций?» [1].

- «Здравствуйте. На втором этаже дома находится стиральная машина, через толстые стены слышна вибрация. Под стиральной машиной лежат толстые резиновые маты. Из-за большой вибрации мы ищем лучшее решение или помещение, препятствующее вибрации. Как решить эту проблему?» [2].

Приведем также высказывания некоторых отечественных потребителей стиральных машин, хотя их количество не столь многочисленно, как в Германии, несмотря на, безусловно, более высокое качество стиральных машин, произведенных в Германии:

- «Купили стиральную машину LG 1281ND. … Проблема такая: машина при работе шумит и вибрирует. … При последнем регулировании машинка по полу во время стирки ездить перестала, но шум и вибрация во время стирки остались. Но машинка изначально позиционировалась как бесшумная. И вот проработав с месяц, стала замечать, что она снова начинает выезжать и вибрировать. … Что нам делать, как доказать, что это какой-то брак машинки, ведь её 3 раза выставляли по уровню и даже сами установщики были в шоке от того, что она у нас не стоит на месте» [3].

- «Столкнулся с вопросом, связанным с вибрацией стиральной машины. … Стиральная машина стоит вроде бы ровно, но когда стиральная машина начинает отжим, она сама и пол рядом вибрируют, даже в другом углу комнаты. Как эту вибрацию погасить?» [4].

В заключение, на основании материала, приведенного в данной работе можно сделать выводы, что существующая некоторая двоякая ситуация в отношении степени актуальности проблемы борьбы с вибрацией стиральных машин должна быть решена, очевидно, в сторону признания важности данной проблемы и, таким образом, необходимости проведения более глубоких исследований динамики стиральных машин и разработки более эффективных средств виброзащиты.

Библиографический список:

1. Gutefrage / портал. – URL: https://www.gutefrage.net/frage/waschmaschine-vibriert-sehr-stark-was-kann-ich-dagegen-tun (Дата обращения:26.09.2017)

2. Forum / VibrationendurchWaschmaschine // Fachwerk.de.–URL:http://www.fachwerk.de/fachwerkhaus/wissen/vibrationen–waschmaschine–103114.html (Датаобращения: 29.09.2017)

3.Forum/ Главный форум потребителей России //OZPP.ru–URL:http://forum.ozpp.ru/showthread.php?t=144402(Дата обращения: 3.10.2017)

4.Forum / Как убрать вибрацию стиральной машины// hochusebedom.ru/–URL:http://hochusebedom.ru/threads/kak-ubrat-vibraciju-stiralnoj-mashiny.267/ (Датаобращения:3.10.2017)

Кожемяченко Александр Владимирович
Доктор технических наук, профессор, ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты

Kozhemyachenko Alexander Vasilyevich
Doctor of Technical Sciences, professor, ISOP (branch) of DSTU in Shakhty
E-mail: cozhemyachenko2016@yandex.ru

Лемешко Михаил Александрович
Кандидат технических наук, доцент ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты
Lemeshko Mikhail Alexandrovich
Candidate of Technical Sciences, associate professor, ISOP (branch) of DSTU in Shakhty
E-mail: lem-mikhail@ua.ru

Маслов Олег Сергеевич
студент ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты
Maslov Oleg Sergeevich
student ISOIP (branch) of DSTU in Shakhty
E-mail: nekstors@yandex.ru

Никишин Владислав Викторович
студент ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты
Nikishin Vladislav Viktorovich
student ISOIP (branch) of DSTU in Shakhty
E-mail: ni.nikishin@yandex.ru

УДК 621.569.92.041

АНАЛИЗ ПРИЧИН ЗАСОРЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ФИЛЬТР-ОСУШИТЕЛЕЙ КОНДИЦИОНЕРОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ANALYSIS OF THE CAUSES OF CLOGGING OF THE FILTER ELEMENTS FILTER DRIERS AIR CONDITIONING SYSTEM IN THE OPERATION PROCESS

Аннотация: Изложена актуальность необходимости проведения анализа причин засорения фильтрующих элементов фильтр-осушителей кондиционеров. Маслохладонова смесь циркулирующая в холодильном агрегате кондиционера практически никогда не бывает чистой это связано с объективными и субъективными факторами эксплуатации этих приборов микроклимата. Приведена методика определения физико-химического и гранулометрического состава эксплуатационных отложений маслохладоновой смеси на фильтрующих элементах фильтр-осушителей кондиционеров, с различными сроками наработки на отказ. Представлены результаты экспериментальных исследований долговечности фильтрующих элементов и адсорбента фильтр-осушителей извлеченных из кондиционеров, отработавших различные сроки эксплуатации. Определены причины изменения цвета адсорбента и характер засорения фильтрующих элементов. Определены численные значения и процентное соотношение размера фракции отложений на фильтрующих сетках фильтр-осушителей. Определены причины образования эксплуатационных отложений на фильтрующих сетках фильтр-осушителей. сформулированы выводы и рекомендации по повышению ремонта пригодности и долговечности фильтр-осушителей кондиционеров.

Summary: The article outlines the urgency of the need to analyze the causes of clogging of the filter elements of air conditioner filter driers. The oil-refrigerant mixture that is circulating in the cooling unit of the air conditioner is almost never clean, this is due to the objective and subjective factors of the operation of these microclimate devices. The technique for determining the physicochemical and granulometric composition of the operating deposits of the oil-chilled mixture on the filter elements of the air conditioning filter-driers, with different periods of time between failures. The results of experimental studies of the longevity of filter elements and the adsorbent of filter driers extracted from air conditioners that have been used for various operating periods are presented. The reasons for the color change of the adsorbent and the nature of the clogging of the filter elements are determined. The numerical values and the percentage ratio of

the size of the sediment fraction on filter screens of filter-driers are determined. The reasons for the formation of operational deposits on the filtering screens of filter driers are determined. formulated conclusions and recommendations on improving the repair of the suitability and durability of filter-driers of air conditioners.

Ключевые слова: засорение, фильтр-осушитель, фильтрующий элемент, адсорбент, кондиционер, долговечность

Keywords: clogging, filter drier, filter element, adsorbent, air conditioner, durability

Чистота маслохладоновой смеси приборов кондиционирования воздуха обеспечивается установкой на их жидкостной линии холодильного агрегата фильтр осушителей. Обеспечение частоты маслохладоновой смеси осуществляется фильтрующими элементами в виде сеток просто или саржевого переплетения, а так же поглощением влаги различными иипами абсорбентов, помещенных между фильтрующими элементами. Эксплуатационный ресурс фильтр осушителей кондиционеров в настоящий момент изучен не достаточно.

Поэтому, актуальным является вопрос изучения причин образования эксплуатационных отложений на фильтрующих элементах, динамика их образования, изменение проходимости фильтр осушителей и их долговечности [1].

Для проведения исследования долговечности фильтр-осушителей их отсоединяли от агрегатов кондиционеров, поступивших в ремонт после 3-15 лет эксплуатации с последующей разрезкой и извлечением их фильтрующих элементов.

Фильтрующие элементы распределяли по группам с учетом времени, места установки и вида фильтрующей сетки.

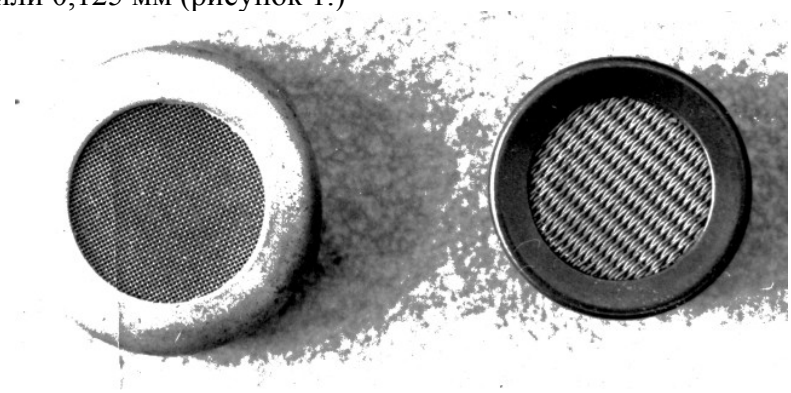
Степень и характер засорения фильтрующих элементов определяли визуально с использованием биологического микроскопа «Биолам Р7» исполнения У4.2 с объективом 10х0,30.

При определении физико-химического состава эксплуатационных отложений проводили спектральный, химический, рентгеноструктурный и гранулометрический анализы

Объектом исследования являлся кондиционер типа LG P09EP со следующими техническими характеристиками:

- с настенной установкой внутреннего блока;
- с одним внутренним блоком;
- мощность в режиме охлаждения составляет 2640 Вт;
- с режимами обогрева, осушения и вентиляции;
- с воздушным фильтром, инверторным управлением мощностью, таймером, регулировкой скорости вращения вентилятора, тип хладагента R 410A;

При проведении исследований использовали фильтр-осушители, в которых в качестве фильтрующих элементов используется латунная полутомпаковая сетка простого переплетения с квадратом в свету 0,14 или 0,125 мм (рисунок 1.)



а) б)

Рисунок 1. - Фильтрующие элементы фильтр – осушителей:
а) с сетками простого переплетения; б) с сетками саржевого переплетения

В качестве адсорбента применяется синтетический гранулированный цеолит типа NaA-2МШ по ТУ 38.101468-76, технические характеристики которого соответствуют следующим параметрам:

- насыпная масса, кг/м3, не менее 770

- размер гранул, мм 1,5-3
- форма гранул
- сферическая или овальная
- влагоемкость по водяным парам при
- температуре 293 К, не менее 12%
- механическая прочность на раздавливание, не менее, 3,2кг
- массовые потери при прокаливании, не более, 6%

Качественный состав загрязнений определяли спектральным анализом на кварцевом спектрографе типа ИСП-51.

Фильтрующие элементы предварительно прокаливали в муфельной печи при температуре 823 К в течение 3 часов с целью удаления органических соединений в виде смазочного масла, кислот, лаков и др.

Пробу прокаленных отложений в виде порошка набивали в отверстие угольного электрода и при возбуждении спектра эмиссии сжигали в дуге переменного тока /сила тока дуги 6-7 А/. Полученный спектр фиксировали на фотопластинку и после проявления определяли качественный состав загрязнений по атласу спектральных линий для кварцевого спектрографа.

Потери органической части отложений определяли следующим образом. Отложения, извлеченные с фильтрующих элементов, разделили по цвету на 4 группы: черные, коричневые, желтые и белые, которые в количестве 2-3 г измельчали растиранием в агатовой ступке до мелкодисперсной массы.

Содержание оксида натрия определяли пламенно-фотографическим методом на пламенном фотометре типа "Флафокол" с использованием смеси воздух - природный газ.

Содержание оксида железа определяли методом, основанном на способности сульфосалициловой кислоты образовывать в аммиачном растворе желтое соединение, так и с ионами трехвалентного железа ионами двухвалентного железа

Содержание диоксида кремния определяли калориметрическим методом, сущность которого заключается в способности кремния образовывать с молибдатом аммония оранжевый комплекс. Метод основан на дифференциальном калориметрировании синего кремнемолибденового комплекса.

Качественный состав загрязнений определяли спектральным анализом на кварцевом спектрографе типа ИСП-51.

Определение количественного состава загрязнений проводили согласно требованиям [2], который устанавливает единые методы качества микросферических катализаторов крекинга.

Содержание оксида алюминия определяли методом, основанным на титровании избытка раствора трилона "Б" раствором сернокислого цинка при PH=5 в присутствии индикатора ксиленолового оранжевого.

Гранулометрический состав загрязнений определяли ситовым и седиментометрическим методами.

При реализации ситового метода определяли содержание фракции отложений размером более 0,1 мм. Для этого на поддон прибора модели 029 последовательно устанавливали сита №№0100, 0160, 0315 с проволочными тканными сетками по ГОСТ 3584-73 нормальной прочности. На верхнее сито помещали пробу отложений в количестве 10 ±0,01 г. Рассев производили в течение 15 минут, после чего остатки на ситах взвешивали с погрешностью 0,01 г, достаточной для данных испытаний.

За истинное содержание фракции загрязнений более 0,1 мм принимали среднее арифметическое между результатами двух параллельных опытов. При этом суммарная масса всех фракций не превышала 100 %, а нижний предел составлял 97 %.

При реализации седиментометрического метода определяли содержание фракций отложений размером менее 0,04 мм, сущность которого заключается в последовательном отборе проб суспензии с известной глубиной и определении количества твердой фазы в пробе, выраженной в процентах от массы начальной пробы.

Навеску пробы отложений массой 5-10 г, взвешенную с точностью ±0,01г, помещали в цилиндрическую емкость и заливали дистиллированной водой до объема У=75 мл, перемешивая смесь в течение 15минут. Затем пробу переносили в цилиндр, который закрывали плотной пробкой и, доведя объем смеси до 500 см3 добавлением дистиллированной воды, в течение I минуты поворачивали цилиндр на 180°при температуре окружающей среды 293-298 К.

После чего пробы отбирали пипеткой через промежутки времени,

определяемые по формуле:

$$\tau = \frac{18 \cdot H \cdot n}{(\rho_{абв} - \rho_b) \cdot g \cdot d^2},$$

где H - - высота оседания осадка;

n - коэффициент вязкости седиментационной жидкости;

d - диаметр частицы;

g - ускорение силы тяжести;

$\rho_{абв}$- плотность частицы, поры которой заполнены седиментационной жидкостью;

$\rho_в$- плотность седиментационной жидкости.

Массу твердой фазы определяли, как разность между массами тиглей с осадком и пустого.

За истинное содержание фракции принимали среднее арифметическое двух параллельных опытов, расхождение между которыми не превышает 16 % относительно среднего значения при 95%-ной доверительности.

Рентгеноструктурный анализ адсорбента проводили на рентгеновском дифрактометре УСР-50 ИМ с использованием рентгеновской трубки типа БСВ-6, счетчика Гейгера типа МСГР-4, гониометра типа ГУР-4 и гониметрической приставки типа ГП-4 с вращением образца в собственной чистого адсорбента.

Исходя из условия, что отказ герметичного агрегата является случайной величиной дискретного типа, построили зависимость плотности распределения частоты отказов герметичных холодильных агрегатов кондиционеров W/h от времени эксплуатации T.

Полученная эмпирическая зависимость W/h=f(T) соответствует теоретическому нормальному двухпараметрическому закону распределения Гаусса (рисунок 2) и определяется уравнением типа [3]:

$$\phi = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{(X-\bar{X})^2}{2\sigma^2}},$$

где x - среднее арифметическое; σ - среднее квадратическое отклонение /дисперсия/.

Согласно работы [3] данному закону подчиняются, как правило, наработки до отказа изделий, испытывающих воздействие факторов, которые приводят к монотонному изменению машины.

Вид теоретического закона распределения для полученной эмпирической зависимости выбирали, используя критерий согласия Колмогорова, величина которого составила λ = 0,114 при доверительной вероятности согласия P(λ)=1.

Статистический анализ данных о величине наработки до отказа показал, что наибольшее кондиционеров поступает в ремонт после 8-14 летней работы.

На основании вышеизложенного с целью получения наиболее достоверной и объективной информации исследовали (фильтрующие элементы фильтр-осушителей, поступивших в ремонт после 8-14 лет эксплуатации.

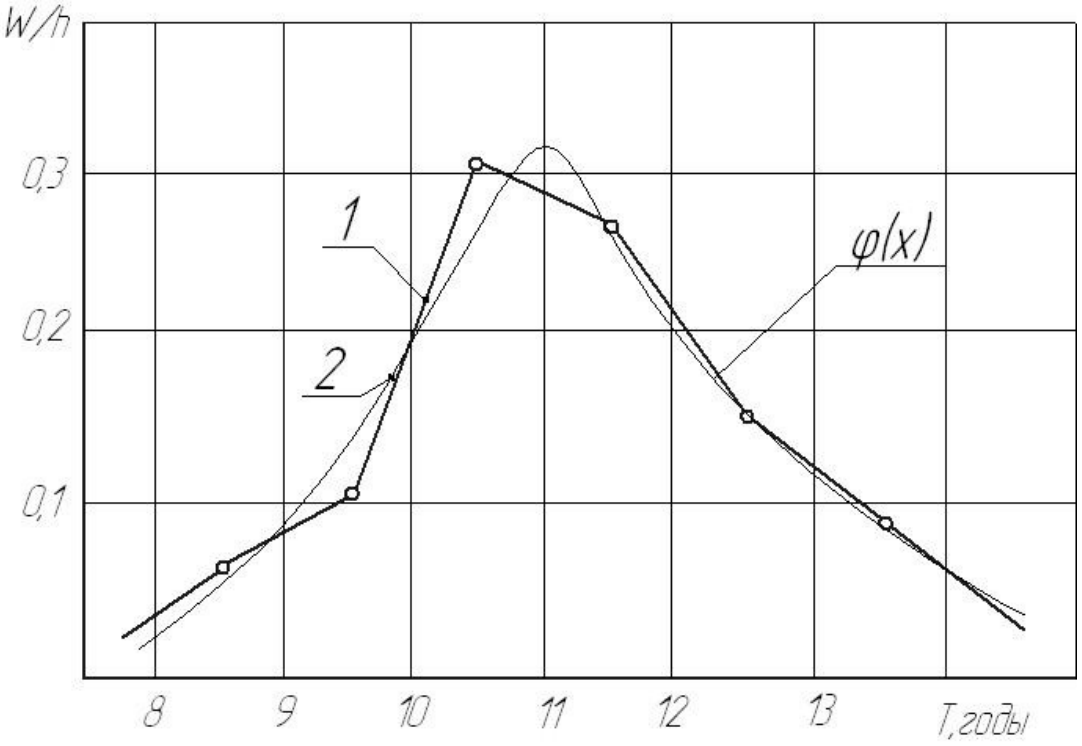


Рисунок 2.- Полигон плотности распределения частоты отказов агрегатов кондиционеров
1- эмпирическое распределение; 2 – теоретическое распределения

В процессе разборки фильтр-осушителей установлено, что засорению, в основном, подвергаются фильтрующие элементы в виде сеток простого саржевого переплетения.

В результате осмотра извлеченных фильтрующих элементов выявили три категории их засорения: чистые, частично засоренные и полностью засоренные. Максимальная толщина слоя отложений на отдельных фильтрующих элементах достигала 1,0-1,5 мм. При этом наблюдали отложения белого, желтого, коричневого и черного цветов. Адсорбент, извлеченный из соответствующих фильтр-осушителей имел цвет, аналогичный цвету отложения. При распределении фильтрующих элементов, согласно даты изготовления и места установки в фильтр-осушителе установили, что белой массой отложений, в большей степени, засоряется сторона фильтрующей сетки, расположенной перед капиллярной трубкой и в меньшей степени сетка, установленная после конденсатора.

Сказанное позволяет утверждать, что большая часть белой массы образуется внутри корпуса фильтр-осушителя между элементами. При этом размеры частиц отложений меньше размеров ячеек фильтрующих сеток простого переплетения. Отдельные частицы оседают на поверхностях проволок фильтрующих сеток, а затем образуют сводики между ними, способствующие в дальнейшем полному перекрытию сечения сеток фильтрующих элементов.

Загрязнению черной смолистой массой подвергаются наружные стороны сеток фильтрующих элементов, установленных после конденсатора.

Сетки, установленные перед капиллярной трубкой, загрязнены частично.

Из этого следует, что основная масса отложений черного цвета образуется - в кожухе герметичного компрессора после «грязного» сгорания встроенного электродвигателя. Частицы данной массы вложений имели размеры равные или превышающие размеры ячеек фильтрующих сеток, что обеспечивало более быстрое их засорение с образованием слоя отложений толщиной до 1,5 мм.

Желтые и коричневые отложения наблюдали на наружной и внутренней стороне фильтрующей сетки, установленной после конденсатора и на внутренней стороне сетки, расположенной перед капиллярной трубкой. Это обстоятельство дает основание утверждать, что желтые и коричневые отложения являются результатом двух ранее рассмотренных причин образования загрязнений.

Аналогичные результаты получили при исследовании состояния загрязнения фильтрующих элементов с сетками простого переплетения. Однако, они содержали значительно меньшую массу

отложений соответствующих сроку эксплуатации, что объясняется размерами ячеек фильтрующих сеток.

В результате статистического анализа характера засорения элементов с сетками саржевого переплетения установили, что в пределах срока эксплуатации 8-14 лет соотношение видов отложений значительно не изменяется и соответствует следующим значениям: сетки, засоренные белой массой, составляют 12,6%, засоренные черной массой - 29,5 %; сетки, засоренные коричневой массой - 13,9 %. Из общего объема выборки 44 % сеток отложений не имели.

Анализ литературных источников [4,5] показал, что эксплуатационные отложения, присутствующие в герметичной системе кондиционеров, могут включать органические и неорганические соединения. С целью удаления и определения количества органических соединений в отложениях пробы белого, желтого, коричневого и черного цветов подвергали прокаливанию с предварительным и последующим определением массы.

Процент по массе удаленных органических единений при термообработке проб составил:

для отложений белого цвета	- 0,88
для отложений желто-коричневого цвета	- 0,99
для отложений черного цвета	- 3,4

Аналогичные результаты получены при прокаливании проб адсорбента, извлеченного из соответствующих фильтр-осушителей и имеющих тот же цвет.

Результаты термообработки проб отложений и адсорбента показывают, что изменение их цвета на более темный связано с присутствием органических соединений.

Результаты термообработки проб отложений и адсорбента показывают, что изменение их цвета на более темный связано с присутствием органических соединений.

При сравнении спектрального анализа термически обработанных проб отложений со спектральными линиями атласа для кварцевого спектрографа установили, что по химическому составу эксплуатационные отложения в основном содержат: оксиды натрия, железа, меди, диоксид кремния, а также цинк, марганец и другие соединения.

При проведении количественного анализа и определения процентного соглашения вышеперечисленных неорганических соединений получены следующие результаты:

алюминия	- 30,0 % масс пробы;
натрия	- 12,3 % масс пробы;
кремния	- 6,8 % масс пробы;
железа /ТУ /Ш/	- 12,0 % масс пробы;
меди	- 21,0 % масс пробы;
марганец, цинк и другие соединения	- 17,9 % масс пробы.

Первые три составляющие неорганической части отложений представляют собой продукты распада адсорбента-цеолита типа NaA-2МШ, что в сумме составляет 49,1 % всей массы отложений. Следовательно, есть все основания утверждать, что одним из основных источников образования эксплуатационных отложений в системе холодильного агрегата является фильтр-осушитель и, в частности, помещенный в нем адсорбент, продукты распада которого представляют белую массу.

Остальная часть неорганических соединений образует в совокупности с частицами адсорбента желто-коричневую массу отложений, отложения являются продуктами деструкции лаковой изоляции статора встроенного электродвигателя и смазочного масла, так как фильтрующие элементы с черными отложениями были установлены в фильтр-осушителях, снятых с герметичных агрегатов, поступивших в ремонт с дефектом "грязное" сгорание электродвигателя компрессора.

При проведении гранулометрического анализа эксплуатационных отложений ситовым и седиментометрическим методами определили, что 85,3% масс отложений состоит из фракции частиц размером более 63мкм и задерживается фильтрующими элементами. Учитывая тот факт, что максимальный размер ячеек сеток простого переплетения в свету составляет 125 мкм, одновременное прохождение двух частиц этого размера через неё невозможно.

Размеры частиц остальной части эксплуатационных отложений с их количеством приведены в табл.1

Таблица 1. - Фракции частиц отложений

Размер фракции, мкм	63-50	50-40	40-30	30-20	20-10	10-0
Содержание,%	1,74	2,49	2,88	3,23	1,47	2,9

Результаты анализа фракционного состава эксплуатационных отложений показывали, что около 15 % частиц не задерживаются фильтр- осушителем. Учитывая, что внутренний диаметр капиллярной трубки составляет 0,8 мм, эта масса отложений поступает далее в систему дачного агрегата или засоряет дроссельный элемент. Таким образом, применяемые в настоящее время фильтрующие сетки простого переплетения не обеспечивают требуемой тонкости фильтрования рабочей среды и вопрос выбора оптимальных размеров фильтрующего элемента требует дополнительного обоснования.

В настоящее время не существует специальной методики расчета герметичных размеров фильтрующих элементов фильтр-осушителей.

С целью определения причин, вызывающих изменение цвета адсорбент с белого на желтый, коричневый и черный, был проведен рентгеноструктурный анализ проб адсорбента соответствующих цветов, при котором определяли содержание чистого в фазовом отношении цеолита типа NaA. Содержание чистого адсорбента NaA в исследуемых пробах изменяется в соответствии с данными, приведенными в табл. 2.

Таблица 2. - Результаты рентгеноструктурного анализа

Цвет пробы адсорбента	Содержание чистого в фазовом отношении адсорбента, %
Белый	80
Желтый	75
Коричневый	55
Черный	45

В качестве сравнительного брали новый адсорбент. Исследуемые образцы адсорбента не содержали в себе чистый в фазовом отношении продукт - цеолит типа NaA. Это связано с тем, что цеолит типа NaA-2МШ содержит не менее 20 % связывающего материала, в качестве которого используют кремнезем. Такая пропорция компонентов соответствует новому неиспользованному адсорбенту белого цвета, изменении цвета адсорбента на более темный происходит снижение чистого в фазовом отношении цеолита NaA, что указывает структурное разрушение под воздействием органической части рационных отложений и примесей, вызывающих его потемнение.

Уменьшение содержания чистого в фазовом отношении цеолита типа NaA в исследуемых пробах приводит к снижению их влагоемкости в соответствующей пропорции. Так, например, поглотительная способность по влаге пробы адсорбента черного цвета составила 6,75%, а белого неиспользованного цеолита - 12 %.

Выводы

На основании результатов, проведенных физико-химических анализов проб адсорбента и эксплуатационных отложений на фильтрующих элементах фильтр-осушителей, можно сделать следующие основные выводы:

эксплуатационные отложения на фильтрующих элементах содержат до 3,4% масс органических соединений и до 99,12 % масс неорганических, среди которых, в свою очередь, 49,1 % составляют продукты в виде диоксида кремния, оксида натрия и, частично, оксида алюминия;

около 15% масс эксплуатационных отложений с фракцией размерами до 63 мкм не задерживаются сетками простого переплетения, которые используются в современных моделях фильтр-осушителей;

используемый в настоящее время цеолит типа NaA-2МШ в эксплуатации претерпевает необратимые структурные изменения, снижающие его поглотительную способность, что

обуславливает нецелесообразность его регенерации с целью повторного использования при ремонте герметичных агрегатов кондиционеров.

Таким образом, с целью повышения долговечности фильтр-осушителей и в целом герметичных агрегатов возникает необходимость в решении следующих задач:

разработка более эффективных адсорбентов;

проведение научно-обоснованного расчета, выбора геометрических размеров и характеристик фильтрующих элементов с учетом особенностей эксплуатации фильтр-осушителей кондиционеров;

совершенствование технологии восстановления исходной годности фильтр-осушителей и очистки отдельных элементов герметичных агрегатов кондиционеров в условиях специализированных предприятий.

Библиографический список:

1. Промышленная чистота машин / Л.Н. Белянин, В.М. Данилов. – М. : Машиностроение, 1982. – 224 с.
2. Корн, Г. Справочник по математике. Для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974. – 831 с.
3. Долинский, Б.Ф. Обработка результатов измерений / Б.Ф. Долинский. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 192 с.
4. Холодильная техника: Энциклопедический справочник [Текст]/Т. I-III. – М.: Госторгиздат, 1960-1962.
5. Жданов, С.П. Синтетические цеолиты: Кристаллизация, структурно-химическое модифицирование и абсорбционные свойства / Жданов, С.П. – М. : Химия, 1981. – 264 с.

Кожемяченко Александр Владимирович
Доктор технических наук, профессор, ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты

Kozhemyachenko Alexander Vasilyevich
Doctor of Technical Sciences, professor, ISOP (branch) of DSTU in Shakhty
E-mail: cozhemyachenko2016@yandex.ru

Лемешко Михаил Александрович
Кандидат технических наук, доцент ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты
Lemeshko Mikhail Alexandrovich
Candidate of Technical Sciences, associate professor, ISOP (branch) of DSTU in Shakhty
E-mail: lem-mikhail@ua.ru

Маслов Олег Сергеевич
студент ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты
Maslov Oleg Sergeevich
student ISOIP (branch) of DSTU in Shakhty, E-mail: nekstors@yandex.ru

Никишин Владислав Викторович
студент ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты
Nikishin Vladislav Viktorovich
student ISOIP (branch) of DSTU in Shakhty, E-mail: ni.nikishin@yandex.ru

УДК 621.569.92.041

ВЛИЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ГЕРМЕТИЧНОГО АГРЕГАТА МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

THE IMPACT OF THE ENVIRONMENT ON THE TEMPERATURE FIELD OF A SEALED ASSEMBLY OF SMALL REFRIGERATING MACHINES

Аннотация: Представлена методика и результаты экспериментального исследования влияния температуры и скорости движения воздуха окружающей среды на температурное поле подсистем малой холодильной машины в условиях снижения массового расхода холодильного агента в герметичной системе холодильного агрегата.

Summary: The technique and results of the experimental study of the influence of the temperature and speed of air movement of the environment on the temperature field of the subsystems of a small refrigerating machine under conditions of a decrease in the mass flow of the refrigerant in the hermetic system of the refrigerating unit are presented.

Ключевые слова: герметичный агрегат, малая холодильная машина, перепад давления, температурное поле, температура окружающего воздуха.

Keywords: sealed unit, small refrigeration machines, pressure drop, temperature field, the temperature of the surrounding air.

Опыт эксплуатации герметичных агрегатов малых холодильных машин показывает, что такие неисправности как частичная утечка холодильного агента, засорение фильтрующих элементов фильтр-осушителей, засорение капиллярной трубки, износ трибосопряжений хладонового компрессора, приводят к снижению массового расхода холодильного агента и соответственно к снижению холодопроизводительности.

При этом особую актуальность представляет ответ на вопрос как изменяется холодопроизводительность при различных температурах окружающего воздуха в условиях воздействия ранее перечисленных эксплуатационных факторов для различных видов малых холодильных машин.

Теплоэнергетические испытания герметичного агрегата с различной степенью проходимости фильтрующих элементов фильтр-осушителей проводили на калориметрическом стенде, разработанном и изготовленном с участием автора.

Принципиальная схема (рис. 1) выполнена на базе стенда, широко используемого при испытаниях герметичных агрегатов малых холодильных машин [1,2].

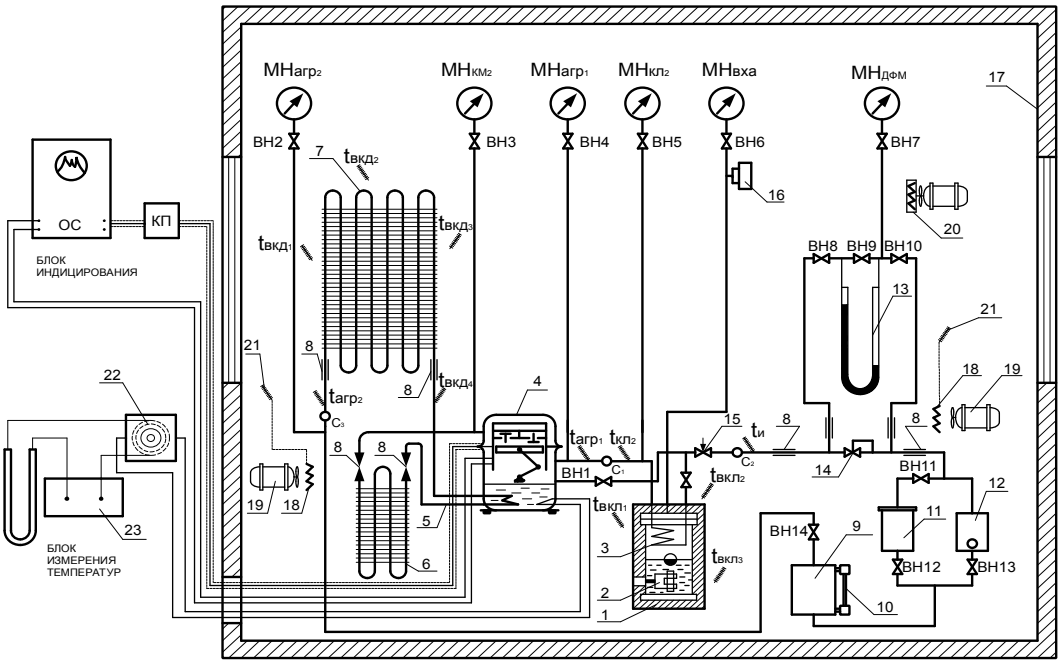


Рисунок 1. Принципиальная схема калориметрического стенда для испытаний холодильного агрегата

Стенд включает: электрический калориметр 1 со вторичным холодильным агентом, электронагревательным элементом 2 и змеевиком-испарителем 3, компрессор 4 с разъемным кожухом и змеевиковым маслоохладителем 5, форконденсатор 6 и конденсатор 7 с воздушным охлаждением, ресивер 9 с мерным стеклом 10, технологический фильтр осушитель 11, прибор для определения концентрации масла 12, дифференциальный ртутный манометр 13, устройство для регулирования проходимости жидкостной линии 14, регулирующий вентиль 15 с микрометрическим винтом, запорные вентили ВН1…ВН15, смотровые стекла С1...С3, термометры, манометры, реле давления 16, соединительные муфты 8, образующие замкнутый хладоновый циркуляционный контур. С целью сокращения потерь холода в процессе калориметрирования регулирующий вентиль 15 дополнительно содержит сильфон, герметично соединенный с корпусом, а капиллярная трубка служит выходным патрубком.

Для расширения функциональных возможностей при испытании, агрегатов стенд снабжен байпасной линией, содержащей регулирующий орган, имитирующий эффект засорения жидкостной линии, и дифференциальный манометр, обеспечивающий контроль перепада давления хладона до и после регулирующего органа.

Новизна технического решения, использованного при изготовлении, подтверждена Госкомитетом СССР по делам изобретений и выдачей авторских свидетельств СССР № 1288466, № I3I5762.

Принципиальная схема стенда и порядок его работы рассмотрены в 4 главе.

Испытания агрегата проводили в диапазоне температур кипения от 263 до 243 К, температуре воздуха вокруг стенда от 289 до 316 К, что соответствует реальным условиям эксплуатации всех моделей бытовых холодильных приборов и требованиям ГОСТов 17008–85 и 16317–83.

Для этого стенд помещали в теплоизолированную камеру, и температурный режим поддерживали с помощью электрических вентиляторов, кондиционера и контактных термометров при использовании усилительных устройств типа УКГ-4, обеспечивающих точность поддержания заданной температуры ± 0,1 К. Скорость воздуха вокруг стенда в камере не превышала 3 м/с.

Поверхность калориметра покрывали слоем поролона толщиной 0,2 м. Влияние теплообмена калориметра с окружающей средой учитывали путем предварительного определения произведения коэффициента теплопередачи на площадь его поверхности $(\kappa F)_{кл}$, согласно методики, изложенной в работе [3]. Значение величины $(\kappa F)_{кл}$ в исследуемом диапазоне температур составило 0,249 Вт/К.

Давление хладона измеряли образцовыми манометрами типа МО класса 0,4 по ГОСТ 6521–72.

Характеристики температурного поля испытуемого агрегата и окружающего воздуха измеряли ртутными лабораторными термометрами типа ТЛ-6 по ГОСТ 215–73 с ценой деления в 0,1 К.

Температуру металлических элементов компрессора, масла и хладона определяли с использованием блока термопар.

Термопары устанавливали по тракту движения хладона от всасывающего патрубка компрессора до выхода из конденсатора агрегата в масляную ванну, на металлические элементы, в полости всасывания и нагнетания компрессора.

Термопары предварительно тарировали, согласно требований [4] с построением зависимости $\mu b=f(K)$ и за результат принимали среднее арифметическое показаний двух термопар.

Мощность, подводимую к стенду, устанавливали и поддерживали автотрансформаторами типа ЛАТР-1М.

Электрические параметры калориметра и компрессора фиксировали с использованием электроизмерительных комплектов типа К-50 со штатными амперметрами и вольтметрами класса 0,5 по Г0ССТ 8711-78 и ваттметрами класса 0,5 по ГОСТ 8476–78.

При испытаниях величину атмосферного давления определяли ртутным барометром. Сопротивление рабочей и пусковой обмоток статора встроенного электродвигателя компрессора измеряли с помощью моста постоянного тока типа МО-62 класса 0,1, используя косвенный метод.

Изменение проходимости жидкостной линии стенда на участке установки фильтр-осушителя осуществляли специальным устройством, представляющим собой микродроссель, конструкция которого разработана автором на базе прибора, рассмотренного в работах [5**]**.

При изменении перепада давления на жидкостной линии герметичного агрегата от 0 до 96,6 кПа наблюдали снижение температурного уровня элементов агрегата и холодильного агента во всем диапазоне температур T_o и $T_{0.в.}$. При этом среднее значение температурного уровня компрессора в зависимости от режима работы снижалось на 0,1-0,5 %. Температура хладона после конденсатора снижалась соответственно на 0,6-1,18%, после калориметра - на 2,9-18,2 %, перед всасывающим патрубком герметичного компрессора - на 4,6-12,4 %, после компрессора - на 1,2-5,9 % и перед конденсатором - на 0,2-7,1 %.

Полученные результаты показывают, что величина перепада давления хладона на жидкостной линии агрегата оказывает наибольшее влияние на снижение температур всасывания и кипения.

Максимальные значения снижения температур в указанных характерных точках наблюдали при более высоких температурах окружающего воздуха и низких температурах кипения холодильного агента. Снижение температуры кипения хладона в испарителе при увеличении перепада давления в жидкостной линии агрегата обусловлено снижением давления кипения в соответствии с уменьшением расхода хладона.

Значения снижения температуры кипения хладона /в % / при различной величине перепада давления на жидкостной линии герметичного агрегата представлены в табл.1.

Таблица 1 - Степень снижения температуры кипения холодильного агента

Температура окружающего воздуха, К	Температура кипения хладона, К	Перепад давления на жидкостной линии герметичного агрегата, кПа				
		16,6	32,2	48,3	80,5	96,6
289	263	3,80	4,40	7,06	9,10	10,79
	253	3,38	3,80	4,76	4,81	5,96
	243	2,94	3,54	3,85	4,22	4,72
316	263	4,04	5,03	8,06	11,19	11,43
	253	3,62	3,80	5,11	5,62	5,93
	243	1,77	1,90	2,05	3,20	3,20

Выводы

Малые значения снижения температуры кипения холодильного агента при температуре окружающего воздуха 316 К и температуре кипения 243 К объясняются небольшими расходами рабочего тела при температурных режимах работы герметичного агрегата, снижение количества

хладона, циркулирующего в системе, обусловленное перепадом давления на жидкостной линии, не влияет на величину давления кипения.

Библиографический список:

1 Стенд для испытания герметичного холодильного агрегата: [Текст] а.с.СССР № 1315762 МПК4F25B49/00/ А.В.Кожемяченко, И.В.Болгов, В.В.Левкин, С.Н.Алехин и др.; заявитель и патентообладатель Шахтинский технологический институт бытового обслуживания № 3895390/23-06; заявл. 16.05.85; опубл. 07.06.87, бюл. № 21.

2 Кожемяченко, А.В. Стенд для тепловых испытаний герметичных агрегатов бытовых холодильников и морозильников [Текст] / А.В. Кожемяченко, В.В. Левкин // Экспресс информ. ;ЦНИИТЭИлегпищемаш : Электробытовые машины, приборы и прочие товары хозяйственного обихода. – 1985. – Вып. 10. – С. 1–3.

3 Левкин, В.В. Исследование влияния температурного уровня на показатели качества герметичных компрессоров бытовых холодильников и определение оптимальных методов их охлаждения : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Левкин В.В. – М. : МТИ. – 1981. – 25 с.

4 Петросов, С.П. Научные основы повышения эффективности бытовых холодильников компрессионного типа : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С.П. Петросов. – М. : МГУс, 2007. – 43 с.

5 Кожемяченко, А.В. Влияние загрязнений на работоспособность герметичных агрегатов бытовых холодильников и повышение их эксплуатационных характеристик при ремонте : дис. ... канд. техн. наук : защищена 15.02.88 : утв. 08.06.88 / Кожемяченко Александр Васильевич. – М., 1988.

Шамсетдинова Лилия Зульфатовна
Shamsetdinova Liliya Zylfatovna
Студентка факультета математики и естественных наук.
Елабужский институт Казанского Федерального Университета.

E-mail: Princesska96@list.ru

УДК 511.1

ВОЗВЕДЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ЧИСЛА В СТЕПЕНЬ

THE CONSTRUCTION OF THE COMPLEX NUMBERS TO A POWER

Аннотация: Ограниченность возможностей, которые дает нам поле действительных чисел, приводит к необходимости изучения поля комплексных чисел. Одним из действий над комплексными числами является возведение комплексного числа в степень.

Abstract: The limitations of that gives us a field of real numbers, leads to the necessity of studying the field of complex numbers. One of the actions on complex numbers is the construction of a complex number to a power.

Ключевые слова: комплексное число, мнимая единица, степень комплексного числа.

Key words: complex number, imaginary unit, the degree of a complex number.

«Те, кто влюбляется в практику без науки, подобны кормчим, выходящим в плавание без руля и компаса, ибо они никогда не (могут быть) уверены, куда идут. Практика всегда должна быть построена на хорошей теории, без нее ничто не может быть сделано хорошо».

Леонардо да Винчи

Ещё Леонардо да Винчи говорил о том, что практика должна быть подкреплена теорией. Поэтому прежде чем начать возводить комплексные числа в степень, нам необходимо понять, что такое комплексные числа, какие операции возможны на множестве комплексных чисел, и как именно выполняются эти операции.

Для начала, познакомимся с историей возникновения комплексных чисел. Итак, история возникновения комплексных чисел была самой сложной среди других видов чисел. Первое их упоминание в истории, можно отнести к 50 веку до нашей эры. Тогда студент Герон из Александрии, пытаясь вычислить объем пирамиды, столкнулся с тем, что должен был взять квадратный корень из разности 81-144. Но тогда он посчитал это невозможным и очень быстро сдался. «Звездный час» комплексных чисел настал в 1545 году, когда итальянский математик Джироламо Кордано предложил создать новый вид чисел. Он предположил, что система уравнений, не имеющая решений в области действительных чисел, вполне может иметь решением числа новой природы. Только нужно было условиться, как всем действовать над такими числами. Но даже сам Кордано считал эти числа бесполезными и всячески старался их не использовать. История возникновения комплексных чисел получила свой новый виток уже в 1552 году, когда итальянский математик Рафаэль Бомбелли в своей книге установил первые правила арифметических операций над такими числами. Сам термин «комплексные числа» был введен Гауссом в 1831 году. История возникновения комплексных чисел после этого начала набирать свои обороты. Многие математики признали и стали изучать их [3].

Теперь, когда, мы познакомились с историей комплексных чисел, мы можем перейти к непосредственному определению комплексного числа.

Комплексным числом называют сумму действительного числа и чисто мнимого числа. $z=a+bi\in C\Leftrightarrow a\in R, b\in R,$ $i-$ мнимая единица, $bi-$ чисто мнимое число, $i^2=-1$ [2, 243].

Два комплексных числа называют равными, если равны их действительные части и равны их мнимые части [2, 243-245].

Операции сложения, вычитания, умножения и деления комплексных чисел удовлетворяют обычным законам арифметических действий (сочетательному, переместительному, распределительному).

Рассмотрим два комплексных числа $z_1=a_1+i\cdot b_1$ и $z_2=a_2+i\cdot b_2$

- Сумма комплексных чисел — комплексное число

$$z=z_1+z_2=(a_1+a_2)+i\cdot(b_1+b_2)$$

- Разность

$$z=z_1-z_2=(a_1-a_2)+i\cdot(b_1-b_2)$$

- Произведение

$$z=z_1\cdot z_2=(a_1\cdot a_2-b_1\cdot b_2)+i\cdot(a_1 b_2+a_2 b_1)$$

- Отношение

$$z=\frac{z_1}{z_2}=\frac{a_1\cdot a_2+b_1\cdot b_2}{a_2^2+b_2^2}+\frac{b_1\cdot a_2-a_1\cdot b_2}{a_2^2+b_2^2}\cdot i$$

.

Если у комплексного числа сохранить действительную часть и поменять знак у мнимой части, то получится комплексное число, сопряженное данному комплексному числу**.** Если данное комплексное число обозначают буквой z, то сопряженное число обозначают $\bar{z}$: $z=x+yi\Rightarrow\overline{z=x-yi}$ [2, 246].

Свойства сопряженных чисел:

Сумма и произведение двух сопряженных чисел есть число действительное.

$$z-\bar{z}=(a+bi)+(a-bi)=2a \qquad z\cdot\bar{z}=(a+bi)(a-bi)=a^2-(bi)^2=a^2+b^2$$

Число, сопряженное сумме двух комплексных чисел, равно сумме сопряженных данным числам.

$$\overline{z_1+z_2}=\overline{z_1}+\overline{z_2}$$

Число, сопряженное разности двух комплексных чисел, равно разности сопряженных данным числам.

$$\overline{z_1-z_2}=\overline{z_1}-\overline{z_2}$$

Число, сопряженное произведению двух комплексных чисел, равно произведению сопряженных данным числам.

$$\overline{z_1\cdot z_2}=\overline{z_1}\cdot\overline{z_2}$$

Число, сопряженное *n*-ой степени комплексного числа z, равно *n*-ой степени числа, сопряженного к числу z.

$$\overline{z^n}=\overline{(z)}^n,\ \ n\in N$$

Число, сопряженное частному двух комплексных чисел, из которых делитель отличен от нуля, равно частному сопряженных чисел, то есть

$$\overline{\left(\frac{a+bi}{c+di}\right)}=\frac{\overline{(a+bi)}}{\overline{(c+di)}}$$

Геометрическая модель множества С (комплексных чисел) - координатная плоскость [2, 248].

Модулем комплексного числа z называется число $|z|=\sqrt{a^2+b^2}$ [2, 256].

Аргументом комплексного числа z называют угол между положительным направлением действительной оси и вектором z:

$a)\ \alpha\in(-\pi;\ \pi]$;

$b)\ z=|z|(\cos\alpha+i\sin\alpha)$

Обозначение**:** $Argz$ [1,7].

Тригонометрической формой комплексного числа z называют $z=|z|(\cos(\arg z)+i\sin(\arg z))$ [1, 8].

Основные типы задач

- Выполнение простейших арифметических операций над комплексными числами.
- Нахождение корней многочленов в комплексных числах.
- Возведение комплексных чисел в степень.
- Извлечение корней из комплексных чисел.
- Применение комплексных чисел для решения прочих задач.

Мы остановимся на задачах типа: возведение комплексных чисел в степень.

При возведении комплексного числа в степень нам понадобится формула Муавра.

Формула Муавра: $(\rho\ (\cos\alpha+i\sin\alpha))^n=\rho^n(\cos n\alpha+i\sin n\alpha);n\in N$ **.**

(Довольно часто формулу Муавра формулируют так: для возведения комплексного числа в n -ую степень следует модуль числа возвести в n -ую степень, а аргумент числа умножить на n).

Теперь мы можем рассмотреть пример, вычислим $(1+i)^{13}$.

Решение. Здесь число записано в алгебраической форме. Перейдем к тригонометрической форме и используем формулу Муавра:

$$1+i=\sqrt{2}\left(\cos\frac{\pi}{4}+i\sin\frac{\pi}{4}\right); \quad (1+i)^{13}=\left(\sqrt{2}\left(\cos\frac{\pi}{4}+i\sin\frac{\pi}{4}\right)\right)^{13}=$$

$$=(\sqrt{2})^{13}\left(\cos\left(13\cdot\frac{\pi}{4}\right)+i\sin\left(13\cdot\frac{\pi}{4}\right)\right)=2^6\sqrt{2}\left(\cos\left(3\pi\cdot\frac{\pi}{4}\right)+i\sin\left(3\pi\cdot\frac{\pi}{4}\right)\right)=$$

$$=64\sqrt{2}\left(-\frac{\sqrt{2}}{2}-i\frac{\sqrt{2}}{2}\right)=-64-64i.$$

Но заметим, что можно было обойтись без формулы Муавра:

$$(1+i)^{13}=((1+i)^2)^6(1+i)=(1+2i+i^2)^6(1+i)=(2i)^6(1+i)=-64(1+i)=-64-64i.$$

Итак, мы, решив поставленную задачу двумя способами, убедились в правильности ответа. Также мы видим, что прежде чем начинать решение, нужно проанализировать, каким способом решать рациональней. А для этого необходимо владеть теорией, подкрепленной практикой. Именно тогда решение любой поставленной задачи не затруднит вас.

Библиографический список:

1) Миронов А.Н., Миронова Ю.Н. Теория функций комплексной переменной: учебное пособие / А.Н.Миронов, Ю.Н. Миронова. –Елабуга: Изд-во ЕГПУ, 2007. – 123 с.

2) Мордкович А. Г. Алгебра и начала математического анализа. 10 класс. В 2 ч. Ч.1. Учебник для учщихся общеобразовательных учреждений (профильный уровень) / А. Г. Мордкович, П. В. Семенов. - 6-е изд., стер. - М. : Мнемозина, 2009. - 424 с.

3) Стройк Д.Я. «Краткий очерк истории математики». М., «Наука», 2009.

Научное издание

Коллектив авторов

ISSN 2500-1140

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2017