

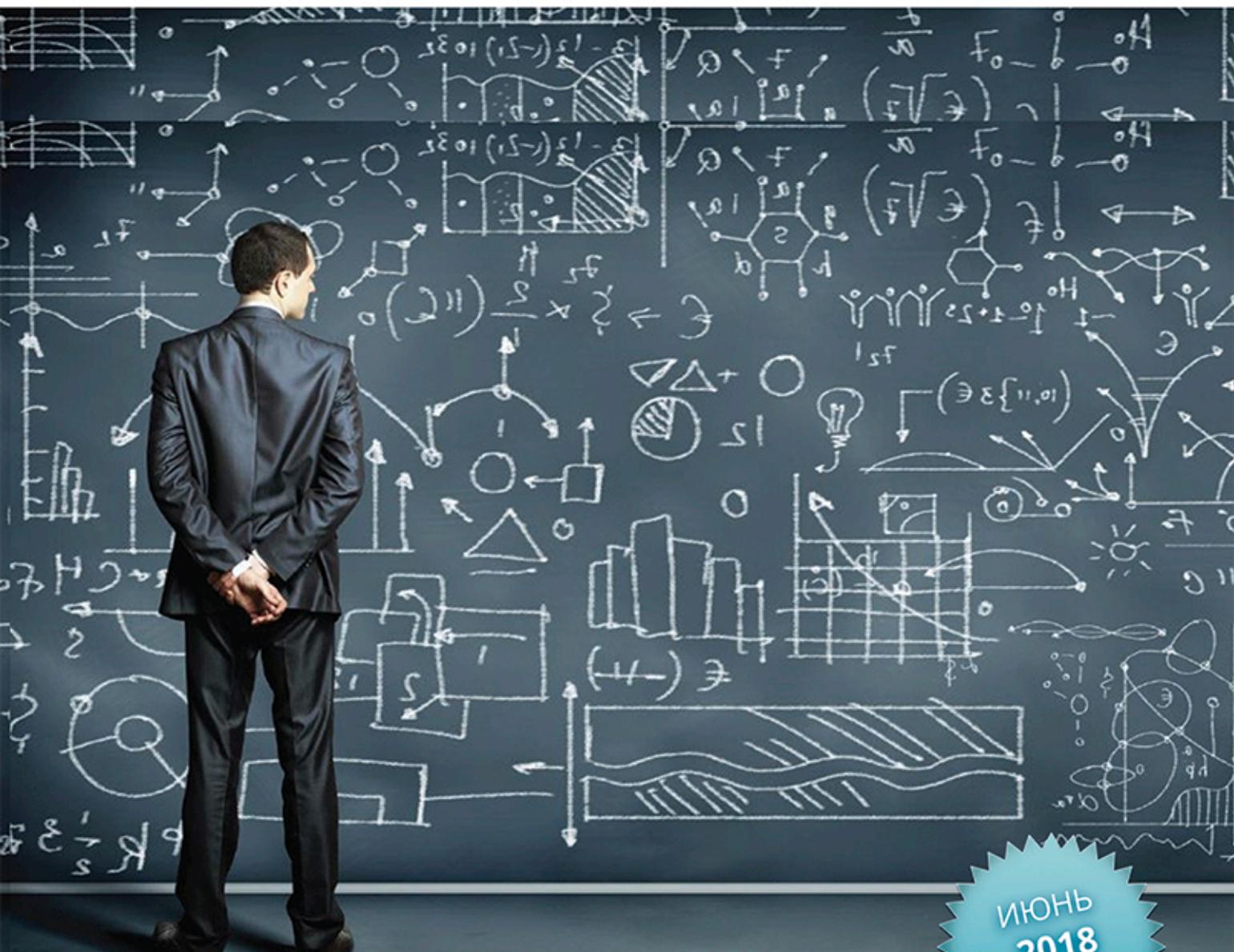
ISSN 2411-1899



ЕВРАЗИЙСКОЕ НАУЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

XI Международная научная конференция



ИЮНЬ
2018
ЧАСТЬ 1

МОСКВА

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Богомолова Е.В.

Одномерные проекционные методы решения систем линейных уравнений с выбором компоненты с наибольшим абсолютным значением в текущей невязке 1

Кудрявцев Ю.С.

Корреляция распределений квазаров на противоположных участках небесной сферы 3

Шаповалов В.А.

Исследование микроструктурных и электрических параметров конвективных облаков на основе трехмерной численной модели 7

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Беляев А.В.

Разработка редактора 3D-моделей как пример подхода к созданию современного веб-приложения 10

Бондаренко Р.А.

Математическая модель гидропривода руля направления с прямым управлением 12

Бухтатый П.С., Лысова А.А.

Исследование динамики калибратора давления с регулятором расхода 18

Васильев В.Я., Ильин Р.А.

Интенсифицированная теплоотдача в каналах прямоугольного профиля 22

Калустьянц Ж.С., Хасигов М.А.

Анализ схем, реализуемых системой OrCAD 24

Курилина С.А., Курилина Т.А., Ермилов Ф.Е.

Очистка водных растворов от тяжелых металлов модифицированным сорбентом 25

Николаев М.Е., Пашнин С.В.

Оценивание угловой скорости поворотной установки с помощью оптического датчика 30

Петров В.Г., Гарбацевич В.А.

Калибровка магнитовариационных станций 32

Прудников С.Н., Шадрин В.С., Новгородская А.В.

Совершенствование динамических характеристик пневматических исполнительных устройств 35

Рыбина Е.О., Аверина Ю.М., Субчева Е.Н.,**Калякина Г.Е.**

Методы получения керамических композитных мембран с нано- и микропорами 39

Семенов С.В.

Инновации. Интеграция научных знаний в производственную деятельность 41

Суторихин В.А., Авдоченко Б.И.

Расчет объема динамического дефекта эффекта Горбунова 43

Федорова Е.С., Гасанбеков К.Н.

Визуализация и графическое отображение разверток пересекающихся поверхностей для решения задач по начертательной геометрии студентами технических вузов 47

Юшков Е.С., Шаршин Д.Н.

Разработка системы оценки освещенности для «умного дома» 50

АРХИТЕКТУРА

Мацкевич Д.Р.

Практический опыт развития прибрежных территорий 53

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

Романович Д.Ю., Романович И.Ю.

Общая характеристика внешнеэкономических связей Северо-Кавказского федерального округа 55



ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Одномерные проекционные методы решения систем линейных уравнений с выбором компоненты с наибольшим абсолютным значением в текущей невязке

Богомолова Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент
ГБОУ ВПО «Государственный университет «Дубна», г. Дубна Московская обл.

Аннотация. Исследуется одномерный проекционный метод, относящийся к числу важнейших итерационных методов для решения линейных систем, присутствующих во многих областях научных вычислений. Метод описывает способ извлечения приближенного решения данной линейной системы из заданного подпространства. Представлен алгоритм, реализующий этот метод, и рассмотрены условия его сходимости.

Ключевые слова: проекционные методы; ортогональное проектирование; метод Гаусса-Зейделя; условия Петрова-Галёркина.

Рассмотрим СЛАУ $Ax = b$, где A квадратная матрица n -го порядка.

Рассмотрим последовательность проекционных процессов в случае, когда пространства \mathcal{K} и \mathcal{L} одномерны. Пусть $\mathcal{K} = \mathcal{L} = \text{span}\{e_i\}$, где e_i это i -й столбец единичной матрицы.

Пусть известно начальное приближение x_0 , обозначим невязку начального приближения через $r_0 = b - Ax_0$, тогда постановка задачи формулируется следующим образом. Необходимо найти такое $\delta \in \mathcal{K}$, чтобы $r_0 - A\delta \perp \mathcal{L}$, т.е.

выполнялось условие Петрова-Галёркина:

$$x_{new} = x_0 + \delta, \delta \in \mathcal{K} \quad (1)$$

$$\forall l \in \mathcal{L}: (r_0 - A\delta, l) = 0. \quad (2)$$

Так как $\mathcal{K} = \text{span}\{e_i\}$, тогда возьмём за $\delta = \alpha e_i$. Постоянная α выбирается так, чтобы обратить в нуль i -ую компоненту невязки, и находится из условия ортогональности (2):

$$(r_0 - \alpha A e_i, e_i) = 0, \quad (3)$$

$$\text{откуда } \alpha = \frac{(r_0, e_i)}{(A e_i, e_i)}.$$

Алгоритм оптимального метода Гаусса-Зейделя 1.1

1. Вычислить $r = b - Ax$
2. Until критерий остановки Do
3. $\alpha := \frac{(r, e_i)}{(A e_i, e_i)}$
4. $x := x + \alpha e_i$
5. $r := r - \alpha A e_i$
6. Выбрать i как индекс компоненты с наибольшим абсолютным значением в текущей невязке r
7. EndDo

Каждый шаг этого итерационного процесса минимизирует функционал

$$f(x) = \|x - x_*\|_A^2 = (A(x - x_*), (x - x_*)),$$

где x_* - точное решение системы; символ $\|x\|_A$ обозначает A -норму вектора, определяемую формулой

$$\|x\|_A = \sqrt{(Ax, x)}.$$

Лемма. Пусть A является симметричной и положительно определённой матрицей. Тогда для векторов начальной $d_0 = x_* - x_0$ и текущей ошибки $d_{new} = x_* - x_{new}$ выполняется равенство:

$$(A d_{new}, d_{new}) = (A d_0, d_0) - \frac{(r, e_i)^2}{a_{ii}}. \quad (4)$$

Доказательство. Так как

$$d_{new} = A^{-1}b - x_{new} = A^{-1}b - x_0 - \alpha e_i = d_0 - \alpha e_i,$$

получим

$$\begin{aligned} (A d_{new}, d_{new}) &= (A(d_0 - \alpha e_i), d_0 - \alpha e_i) = (A d_0 - \alpha A e_i, d_0 - \alpha e_i) = \\ &= (A d_0, d_0) - \alpha (A d_0, e_i) - \alpha (A e_i, d_0) + \alpha^2 (A e_i, e_i). \end{aligned}$$

В силу симметричности матрицы A имеем

$$(A e_i, d_0) = (e_i, A d_0) = (A d_0, e_i),$$

тогда

$$\begin{aligned} (A d_{new}, d_{new}) &= (A d_0, d_0) - 2\alpha (A d_0, e_i) + \alpha^2 (A e_i, e_i) = \\ &= (A d_0, d_0) - 2\alpha (b - A x_0, e_i) + \alpha^2 (A e_i, e_i) = \\ &= (A d_0, d_0) - 2\alpha (r_0, e_i) + \alpha^2 (A e_i, e_i). \end{aligned}$$

Учитывая (3), получим

$$(A d_{new}, d_{new}) = (A d_0, d_0) - 2\alpha^2 (A e_i, e_i) + \alpha^2 (A e_i, e_i) =$$

$$= (Ad_0, d_0) - \alpha^2 (Ae_i, e_i) = (Ad_0, d_0) - \left(\frac{(r_0, e_i)}{(Ae_i, e_i)} \right)^2 (Ae_i, e_i) =$$

$$= (Ad_0, d_0) - \frac{(r_0, e_i)^2}{(Ae_i, e_i)} = (Ad_0, d_0) - \frac{(r_0, e_i)^2}{a_{ii}}.$$

Лемма доказана.

Теорема. Пусть A является симметричной и положительно определённой матрицей. Тогда A -нормы векторов ошибки d_{new} , генерируемых алгоритмом 1.1, удовлетворяют неравенству

$$\|d_{new}\|_A \leq \left(1 - \frac{1}{n \cdot k^2(A)}\right)^{1/2} \|d_0\|_A. \quad (5)$$

Здесь $k(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\|$ спектральное число обусловленности матрицы A .

Алгоритм 1.1 сходится при любом начальном приближении x_0 , если

$$k(A) \geq \frac{1}{\sqrt{n}}.$$

Доказательство. Рассмотрим A -норму вектора ошибки

$$\|d_{new}\|_A^2 = (Ad_{new}, d_{new}).$$

Тогда, используя лемму, получим

$$\|d_{new}\|_A^2 = (Ad_0, d_0) - \frac{(r_0, e_i)^2}{a_{ii}} = \|d_0\|_A^2 \left(1 - \frac{(e_i^T r_0)^2}{a_{ii}(Ad_0, d_0)}\right).$$

Воспользуемся неравенством: $|e_i^T r_0| \geq n^{-1/2} \|r_0\|$, где $\|r_0\| = \sqrt{(r_0, r_0)}$.

Тогда

$$\|d_{new}\|_A^2 \leq \|d_0\|_A^2 \left(1 - \frac{(r_0, r_0)}{n(Ae_i, e_i)(Ad_0, d_0)}\right).$$

Так как

$$(Ad_0, d_0) = (b - Ax_0, x_* - x_0) = (r_0, A^{-1}b - x_0) = (r_0, A^{-1}(b - Ax_0)) =$$

$$= (r_0, A^{-1}r_0),$$

Учитывая норму матрицы $\|A\| = \max_{x \neq 0} \frac{\|Ax\|}{\|x\|}$, находим требуемую оценку:

$$\|d_{new}\|_A^2 \leq \|d_0\|_A^2 \left(1 - \frac{(e_i, e_i)(r_0, r_0)}{n(Ae_i, e_i)(r_0, A^{-1}r_0)}\right) \leq \|d_0\|_A^2 \left(1 - \frac{1}{n\|A\|^2\|A^{-1}\|^2}\right) =$$

$$= \|d_0\|_A^2 \left(1 - \frac{1}{n \cdot k^2(A)}\right).$$

При этом алгоритм сходится при условии, что $\sqrt{1 - \frac{1}{n \cdot k^2(A)}} < 1$, то есть при $k(A) \geq \frac{1}{\sqrt{n}}$. Теорема доказана.

В качестве примера рассмотрим систему с матрицами

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 4 \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

$$\text{Точное решение } X = \left(-\frac{1}{3}, \frac{5}{6}, \frac{1}{3}\right).$$

Таблица 1 показывает результаты применения нескольких алгоритмов к задаче с точностью $\varepsilon = 0,01$:

Таблица 1

Метод	Итерации	Невязка	Ошибка
Циклический метод Зейделя	$n = 8$	0,044	0,085
Метод скорейшего спуска	$n = 12$	0,03	0,008
Оптимальный метод Гаусса-Зейделя	$n = 12$	0,045	0,088

Таблица 2 показывает результаты применения нескольких алгоритмов к задаче с точностью $\varepsilon = 0,001$:

Таблица 2

Метод	Итерации	Невязка	Ошибка
Циклический метод Зейделя	$n = 16$	$4,454 \cdot 10^{-3}$	$8,53 \cdot 10^{-3}$
Метод скорейшего спуска	$n = 38$	$1,775 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Оптимальный метод Гаусса-Зейделя	$n = 35$	$3,974 \cdot 10^{-3}$	$7,609 \cdot 10^{-3}$

Видим, что сходимость достаточно медленная, так как $\left(1 - \frac{1}{n \cdot k^2(A)}\right) = 0,999$.

Литература:

- Саад Ю. Итерационные методы для разреженных линейных систем: Учеб. пособие. – В 2-х томах. Том 1 / Пер. с англ.: Х.Д.Икрамов; Предисл.: В.А.Садовничий. – М.: Издательство Московского университета, 2013. – 344 с.
- Лапчик М.П. Численные методы: Учебное пособие для студентов вузов. / М.П.Лапчик, М.И.Рагулина, Е.К.Хеннер; под ред. М.П.Лапчика. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 384 с.

Корреляция распределений квазаров на противоположных участках небесной сферы

Кудрявцев Юрий Сергеевич

Выполнена проверка предположения, что описанный ранее эффект центральной симметрии небесной сферы, проявляющийся в возможности наблюдения одного и того же удаленного излучающего объекта в виде двух объектов, расположенных в противоположных точках небесной сферы, может приводить к корреляции распределений удаленных наблюдаемых объектов на противоположных участках небесной сферы.

Обнаружена статистически значимая корреляция распределений квазаров каталога SDSS-DR10 на паре противоположных приэкваториальных участков размером $70^\circ \times 6^\circ$ и визуальные признаки корреляции на другой паре участков того же размера. Корреляция распределений подтверждает настоятельную необходимость пересмотра стандартной космологической модели «Большого Взрыва», построенной на метрике не расширяющейся, а стационарной Вселенной.

98.80.-k

1. Введение

Создание любой космологической теории, описывающей поведение Вселенной, начинается с выбора системы координат, которая называется метрикой и описывает интервалы между точками-событиями в четырехмерном пространстве-времени. Когда Эйнштейну в 1917 году впервые пришла мысль об искривлении нашего трехмерного пространства тяготением, он предложил ввести дополнительное (фиктивное) пространственное измерение и сразу же исключить его из формул, выразив через радиус кривизны пространства [1]. В результате появилась метрика, в которой есть время, три пространственные координаты и радиус кривизны пространства.

Когда Эйнштейн создавал эту метрику, еще никто не знал что Вселенная расширяется, и он выводил формулы, исходя из того, что радиус кривизны пространства есть величина постоянная, то есть не для расширяющейся, а для стационарной Вселенной. Поэтому в его выводе выражения для метрики отсутствует дифференциал радиуса кривизны, который в стационарной Вселенной просто равен нулю.

Метрика, лежащая в основе теории «Большого Взрыва», оказывается совершенно идентичной метрике Эйнштейна [1][2], хотя описывает Вселенную, изменяющуюся во времени, в которой кривизна пространства меняется, и ее дифференциал уже не может быть равен нулю. Таким образом, теория, описывающая расширяющуюся Вселенную, построена на метрике стационарной Вселенной, то есть содержит глубокое внутреннее противоречие.

Противоречие снимается при использовании метрики, учитывающей ненулевую величину дифференциала масштабного фактора [3][4]. Модифицированная космологическая модель, построенная на основе этой метрики, описывает Вселенную, остающуюся закрытой при любой плотности материи, не требующую введения дополнительных ненаблюдаемых субстанций (космологической постоянной или темной энергии), бесконечную во времени и на данном этапе развития расширяющуюся ускоренно.

Более медленная динамика расширения устраняет существенные проблемы стандартной космологической модели, связанные с ограничениями во времени. При этом открываются возможности для описания целого ряда наблюдаемых астрономических явлений, которые не могут быть описаны моделью «Большого Взрыва».

Недавно обнаруженная симметрия неоднородностей реликтового излучения интерпретируется как возможное

свидетельство нарушения основополагающего требования изотропии пространства («Ось Зла»!) [5], однако в модифицированной модели это естественное следствие более медленной динамики развития [3]. Время, прошедшее с момента излучения сигнала источником, например неоднородностью материи в период рекомбинации водорода, оказывается достаточным для того, чтобы излучение, распространяющееся во всех направлениях, достигло наблюдателя не только по малой, но и по большой дуге большого круга закрытой Вселенной, то есть с противоположной стороны небесной сферы, что воспринимается наблюдателем как явление центральной симметрии - возможность наблюдения одного и того же источника в двух противоположных (центрально-симметричных) точках.

Существование явления центральной симметрии подтверждается центральной симметрией микроволнового фона [6], существованием пар противоположащих квазаров, которые также могут интерпретироваться как пары изображений одного и того же удаленного объекта [7], результатами сравнительного анализа микроволнового фона и данных каталога квазаров, в которых обнаружена корреляция микроволнового фона с распределениями средних значений красного смещения квазаров [8].

Модель «Большого Взрыва» не может адекватно объяснить эти и целый ряд других особенностей, имеющихся астрономических данных, таких как зависимость от красного смещения средних магнитуд квазаров и галактик [9], а также корреляцию распределения микроволнового фона с распределением пар квазаров [10] с разностью красных смещений $\Delta Z \approx 2$. Это свидетельствует об актуальности ее пересмотра и устранения заложенного в ее основу противоречия - метрики стационарного мира, которая лежит в основании модели, описывающей расширяющуюся Вселенную.

Вероятность возвращения к истокам теории, и ее пересмотра, возрастает с обнаружением новых особенностей астрономических данных, не поддающихся адекватной интерпретации в модели «Большого Взрыва».

Целью настоящей работы является проверка предположения, вытекающего из описанного выше эффекта центральной симметрии. Если мы можем наблюдать в противоположных точках небесной сферы отдельные точечные удаленные объекты (галактики, квазары), то мы можем видеть и некоторые особенности их пространственного распределения (сгущения и разрежения). Что может приводить к корреляции распределений наблюдаемых объектов на противоположных участках небесной сферы.

2. Выбор объектов исследования

По данным модифицированной космологической модели, оборот световых сигналов вокруг замкнутой Вселенной соответствует величинам красного смещения $\Delta Z \approx 2$ [9][10]. Подавляющее большинство включенных в каталоги галактик имеют красные смещения $Z < 0,3$. Поэтому более целесообразно рассматривать явления, связанные с центральной симметрией, на примере более удаленных объектов —

квазаров, имеющих красные смещения вплоть до $Z = 2$ и выше.

Для анализа были использованы данные каталога квазаров SDSS-DR10 [11]. Каталог содержит 192 853 объекта с красными смещениями от 0 до 7. На Рис.1. показано их распределение в галактических координатах RAJ2000, DEJ2000 в той части небесной сферы, в которой имеются пары зон, пригодные для сопоставления противоположных распределений.

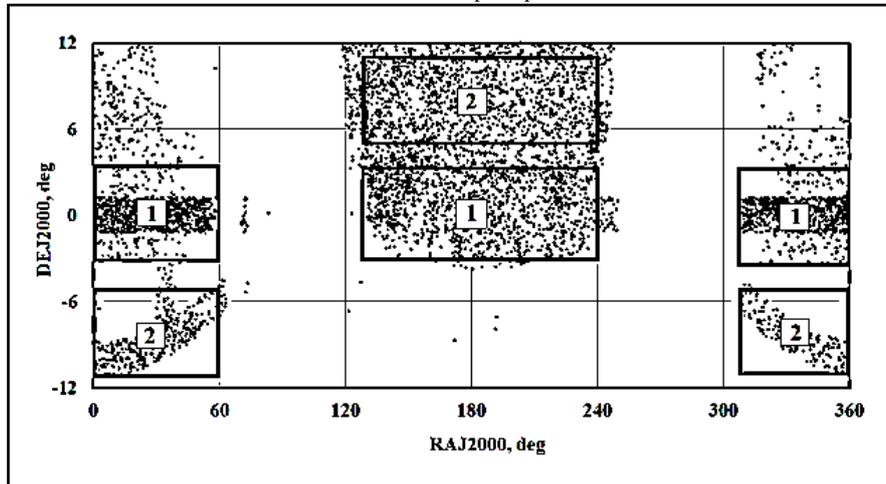


Рис 1. Расположение на карте небесной сферы квазаров каталога SDSS-DR10 и пар зон №1 и №2, пригодных для анализа противоположных распределений.

На рисунке видно, что имеются 2 пары противоположных зон достаточно большой протяженности (около $100^\circ \times 6^\circ$), содержащих большое количество квазаров и позволяющих сопоставить их распределения по координате прямого восхождения RAJ2000.

Пара зон №1 содержит 23 507 квазаров (13841 и 9666), пара зон №2 - 24 466 квазаров (4 116 и 20 350).

3. Сравнительный анализ распределений квазаров пары зон №1

Для сравнительного анализа распределений квазаров на паре противоположных зон всем объектам одной из этих зон присваивались инвертированные координаты, т.е. координаты строго противоположных им точек небесной сферы. Значение RA заменялось на значение $RA \pm 180$ градусов, а значение DE инвертировалось, что позволило совмещать объекты, расположенные на противоположных участках небесной сферы, в одном диапазоне координат и строить их распределения вдоль координаты RA на одном графике.

Сопоставление распределений при разных ширинах полосы и при разных величинах шага вдоль RA показало, что с их уменьшением резко возрастает шумовая компонента и неоднородность итоговых распределений. На Рис. 2 показаны распределения, полученные при максимальных значениях: $\Delta RA = 5^\circ$ и $-3^\circ < DE < 3^\circ$.

На представленных кривых можно отметить визуальные признаки искомой корреляции. Участки возрастания или уменьшения числа квазаров на большинстве шагов этих распределений совпадают, как и общая форма распределений (за исключением одной выпадающей точки $RA = 165^\circ$). Для численного определения степени корреляции была рассчитана величина коэффициента корреляции Пирсона, которая составила $R_{xy} = 0,63$.

Рассмотрим вероятность ошибки (нулевого результата) p_{null} по таблице критических значений коэффициента корреляции Пирсона для одностороннего («one-tailed») крите-

рия, поскольку знак ожидаемой корреляции нам известен — ожидается положительная корреляция распределений. При количестве измеряемых значений $n = 15$ число степеней свободы $df = n - 2 = 13$ и вероятность ошибки (нулевого результата) $p_{\text{null}} < 0,02$, что соответствует статистически значимой корреляции. Таким образом, мы можем констатировать, что искомая корреляция распределений квазаров на противоположных участках зоны №1 имеется и является статистически значимой.

$N(RA; RA-180 \text{ deg}) \quad -3\text{deg} < DE < 3\text{deg}$

$R_{xy} = 0.63; \quad df = (N-2) = 13; \quad p_{\text{null}} < 0.02$

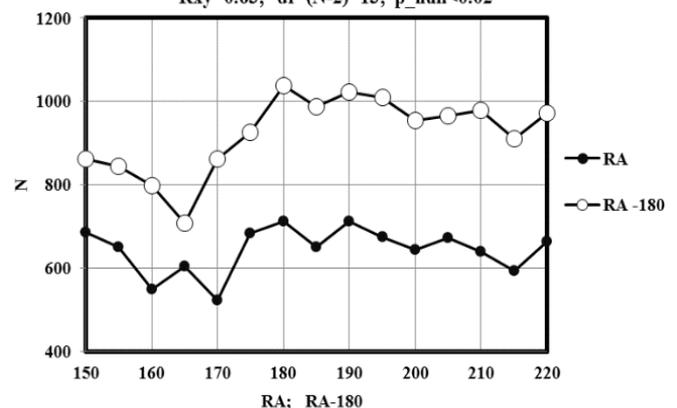


Рис 2. Распределение плотности квазаров каталога SDSS-DR10 на противоположных участках зоны №1 ($-3^\circ < DE < 3^\circ$), $\Delta RA = 5^\circ$.

На Рис.3 показаны аналогичные кривые, снятые при меньшей величине шага $\Delta RA = 2^\circ$. Поскольку при этом существенно возросла шумовая компонента, представленные кривые сглажены путем усреднения по 5 последовательным точкам. На этих кривых также отчетливо видна корреляция формы и локальных особенностей. Коэффициент корреляции Пирсона для этих кривых $R_{xy} = 0,82$.

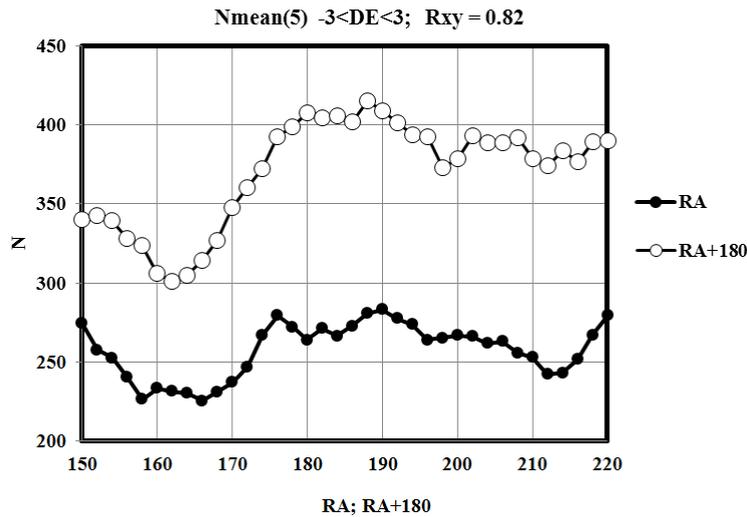


Рис 3. Распределения на противоположащих участках зоны №1 ($-3^\circ < DE < 3^\circ$) при подсчете с меньшим шагом ($\Delta RA = 2^\circ$) со сглаживанием.

4. Сравнительный анализ распределений квазаров пары зон № 2

На Рис.1. видно, что распределение квазаров в пределах одного из участков зоны № 2 ($-11^\circ < DE < -5^\circ$) существенно более неоднородно, чем в зоне № 1. Кроме того, количество квазаров на этом участке значительно меньше, чем на участках зоны № 1. Это позволяет предполагать увеличенное влияние шумовой компоненты и меньшую вероятность обнаружения корреляции. Кроме того, в этой зоне имеется локальная неоднородность распределения квазаров при $30^\circ < RA < 40^\circ$, что соответствует $210^\circ < RA+180^\circ < 220^\circ$. Эта

неоднородность препятствует сравнению распределений при $RA > 210^\circ$.

На Рис. 4 и Рис 5 представлены результаты визуального сопоставления распределений квазаров зоны № 2 с прямыми и инвертированными координатами на точечных диаграммах в координатах RA, DE. На Рис 4 можно отметить наличие крупномасштабных неоднородностей этих распределений, некоторые из которых представляются коррелирующими по расположению, размерам и форме. Однако визуальный анализ не позволяет определить случайный или закономерный характер этих особенностей распределения.

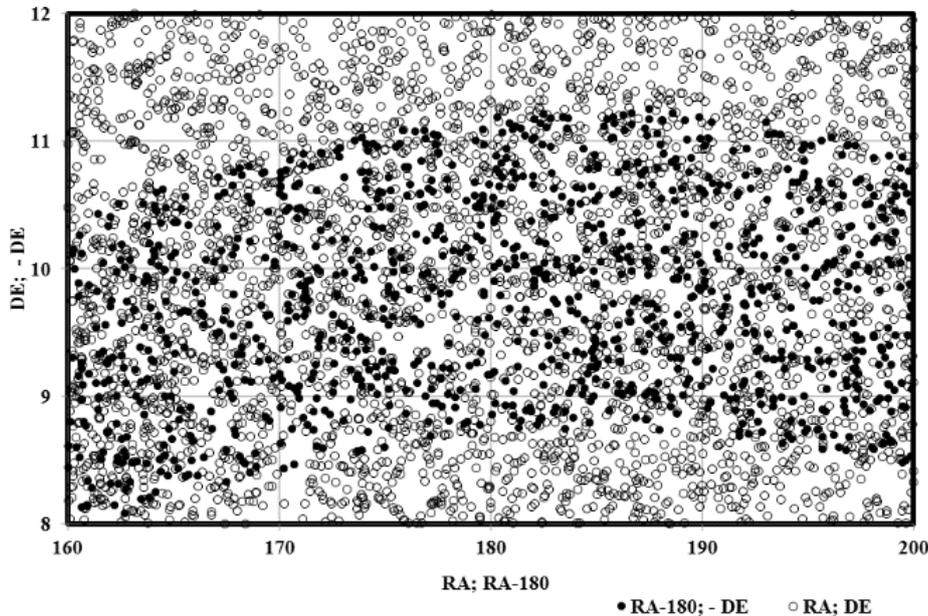


Рис 4. Крупномасштабные неоднородности распределения противоположащих квазаров зоны 2 ($5^\circ < DE < 11^\circ$).

На Рис. 5 представлена, аналогично Рис. 2, пара распределений квазаров вдоль координаты RA, полученных при $\Delta RA = 3^\circ$. На этих кривых так же, как на кривых Рис.2 и Рис 3, можно визуально отметить элементы положительной корреляции.

Однако расчет коэффициента корреляции Пирсона не отражает этих элементов и имеет отрицательное значение из-за противоположных тенденций роста и убывания сред-

них значений. Соответствующие линейные тренды показаны на Рис. 5 пунктирными линиями.

Попытка компенсации их влияния путем построения отношений кривых Рис.5 к значениям линейных трендов дает кривые, показанные на Рис.6. На этих кривых также можно визуально отметить элементы корреляции крупномасштабных особенностей. Коэффициент корреляции Пирсона для этих кривых имеет положительное значение $Rxy = 0,36$.

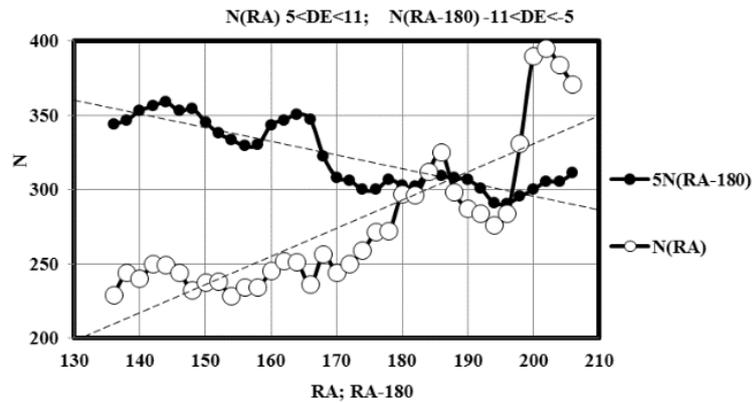


Рис 5. Распределения плотности квазаров каталога SDSS-DR10 на противоположных участках зоны №2 ($-11 < DE < -5$; $5 < DE < 11$).

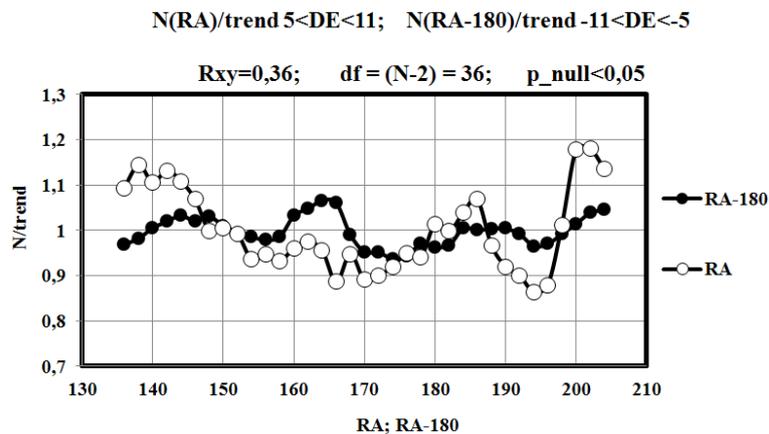


Рис 6. Распределения плотности квазаров каталога SDSS-DR10 на противоположных участках зоны №2 ($-11 < DE < -5$; $5 < DE < 11$), нормированные на линейные тренды, показанные на Рис.5.

Таким образом, для пары зон № 2 мы можем говорить если не о статистически значимой корреляции противоположных распределений, то о наличии визуальных признаков этой корреляции, которая подтверждается положительным значением коэффициента корреляции Пирсона для распределений, скорректированных по отношению к линейным трендам.

5. Заключение.

Обнаружена статистически значимая корреляция распределений квазаров каталога SDSS-DR10 на паре противоположных участков небесной сферы с угловыми раз-

мерами $6^\circ \times 70^\circ$ и визуальные признаки корреляции на другой паре участков того же размера.

Корреляция распределений подтверждает выводы модифицированной космологической модели [3][4] и настоятельную необходимость пересмотра стандартной космологической модели «Большого Взрыва», которая построена на метрике не расширяющейся, а стационарной Вселенной.

6. Благодарности

С удовольствием выражаю глубокую благодарность фонду Альфреда Слоуна за предоставленную возможность использования каталогов астрономических данных.

Литература:

1. А Эйнштейн. Вопросы космологии и общая теория относительности (*Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. Sitzungsher preuss. Akad. Wiss., 1917, 1, 142-152*) В кн. А Эйнштейн, собрание научных трудов, т.1, "Наука", М., 1965, С. 601-612.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: В 10 т. Т. II. Теория поля. - 8-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2003. - 536 с. (*Landau L.D., Lifshitz E.M. Course of Theoretical Physics: The Classical Theory of Fields. Vol.2*)
3. Iurii Kudriavtcev. On inner contradiction in the metric tensor of the standard cosmological model / Physical Interpretation of Relativity Theory: Proceedings of International Meeting. Moscow, 4-7 July 2011 / Ed. By M.C. Duffy, V.O. Gladyshev, A.N. Morozov, P. Rowlands. - Moscow: BMSTU, 2012. p.178-185.
http://www.space-lab.ru/files/news/proceedings_PIRT_11/text/PIRT%202011_proceedings.pdf
4. Ю.С. Кудрявцев. О внутреннем противоречии в метрическом тензоре стандартной космологической модели и астрономических подтверждениях необходимости ее модификации / "Eurasian Scientific Association" • № 8 (30) • August 2017. Pp. 9-21. <http://esa-conference.ru/wp-content/uploads/2017/09/esa-august-2017-part1.pdf>
5. K. Land, J. Magueijo. Examination of Evidence for a Preferred Axis in the Cosmic Radiation Anisotropy. Phys. Rev. Lett. 95, 071301 (2005).
6. Iurii Kudriavtcev, Dmitry A. Semenov. Central symmetry and antisymmetry of the microwave background inhomogeneities on Wilkinson Microwave Anisotropy Probe maps. <http://arxiv.org/abs/1008.4085>

7. Iurii Kudriavtcev. Manifestation of central symmetry of the celestial sphere in the mutual disposition and luminosity of the Quasars. / <http://arxiv.org/abs/1009.4424>

8. Kudriavtcev Iu. Correlation of the angular distributions of the antisymmetrical component of the microwave background temperature deviation and the redshifts of quasars / Physical Interpretation of Relativity Theory: Proceedings of International Meeting. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 29 June–02 July, 2015. — Moscow : BMSTU, 2015. Pp 248-265. (<http://www.pirt.info/scopus/all-issues/2015/articles/Kudriavtcev1.pdf>).

9. Iurii Kudriavtcev. Specific features of the average magnitudes and luminosities of quasars and galaxies as a function of redshift and their interpretation in the modified cosmological model. <http://arxiv.org/abs/1109.3630>

10. Ю.С. Кудрявцев. О некоторых парах квазаров как парах изображений одного и того же излучающего объекта / “Eurasian Scientific Association” • №9(31) • September 2017. Pp. 6-16. <http://esa-conference.ru/wp-content/uploads/2017/10/esa-september-2017-part1.pdf>

11. SDSS DR10 catalogue of candidate quasars (Brescia+, 2015) <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=J/MNRAS/450/3893>

Исследование микроструктурных и электрических параметров конвективных облаков на основе трехмерной численной модели

Шаповалов Виталий Александрович, кандидат физ.-мат. наук
Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик

В работе приведено краткое описание трехмерной нестационарной численной модели конвективного облака с детальным учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов. На основе численных экспериментов определены термодинамические и микроструктурные параметры в зоне конвективного облака в различные моменты времени, исследован характер воздушных потоков. Получены характеристики электрического заряда и поля в мощном облаке. Анализ расчетных данных выполнялся с помощью авторской программы трехмерной графики.

Ключевые слова: трехмерная численная модель, конвективное облако, микроструктурные параметры, капли, ледяные частицы

Введение. Математические модели конвективных облаков представляют собой важнейший инструмент исследований физических процессов в облаках, например, образования осадков, электричества облаков и т.д. Математическое моделирование облаков различных типов развивалось быстрыми темпами с 70-80-х годов прошлого века, за достаточно короткий период времени в этом направлении достигнуты определенные успехи — разработаны и используются в исследованиях трехмерные модели конвективных облаков с описанием основных процессов, отвечающих за их образование и развитие. Основные достижения в численном моделировании конвективных облаков изложены, например, в работах [1-4]. Вместе с тем, развитие трехмерных моделей мощных конвективных облаков до настоящего времени встречает серьезные трудности, обусловленные трудностями вычислительного характера и недостаточной исследованностью многих физических процессов в облаках. В частности, еще очень мало исследованы электрические процессы.

В Высокогорном геофизическом институте разработана и развивается трехмерная нестационарная численная модель конвективного облака с детальным описанием гидротермодинамических, микрофизических и электрических процессов. На ее основе проводятся численные эксперименты по исследованию процессов в конвективных облаках при реальных и модельных стратификациях атмосферы и характеристиках поля ветра [5-6].

В настоящей работе приведены результаты исследований физических закономерностей образования жидкой и ледяной фаз в мощных конвективных облаках. Представлено краткое описание разработанной трехмерной модели конвективного облака. Приведены некоторые результаты численных экспериментов.

Краткое описание модели облака. Гидротермодинамический блок модели состоит из уравнений, описывающих влажную конвекцию в приближении Буссинеска, в которых учитывается адвективный и турбулентный перенос, силы плавучести, трения и барических градиентов [1,5].

Микрофизический блок модели описывает процессы нуклеации, конденсации, коагуляции капель с каплями, сублимации, аккреции, замерзания капель, осаждения облачных частиц в поле силы тяжести, их перенос воздушными потоками, а также взаимодействие облачных частиц под влиянием электрического поля облака. Система уравнений записана для функций распределения по массам капель $f_1(\vec{r}, m, t)$, ледяных частиц $f_2(\vec{r}, m, t)$ и осколков замерзания капель $f_3(\vec{r}, m, t)$ [6].

В модели учитывается физический процесс электризации на стадии формирования осадков — заряджение переохлажденных капель при их замерзании (знак заряда «минус») с образованием осколков замерзания (микровыбросов), заряженных положительно.

Для расчета электрического заряда и поля облака были аппроксимированы экспериментальные зависимости выбросов микрочастиц от размера замерзающей капли и значений коэффициентов разделения зарядов, связанных с замерзанием капель воды и взаимодействием кристаллов с переохлажденными каплями. В модели на каждом временном шаге рассчитываются объемные заряды в облаке, потенциал электростатического поля, создаваемого этими зарядами, а также горизонтальные и вертикальные составляющие напряженности поля облака.

Для сопоставления с данными радиолокационных наблюдений облаков в модели рассчитывается радиолокационная отражаемость модельного облака на нескольких длинах волн сантиметрового диапазона (3,2, 5,6, 10 см).

Размер пространственной области при расчетах задавался равным 60 км по горизонтали и 16 км - по вертикали. Шаг сетки по координатам X, Y составлял 500 м, по Z - 250 м. Облако инициировалось заданием импульса у поверхности земли с перегревом $\Delta T=1.0-2.0$ °C. Форма импульса - диск, радиусом в горизонтальной плоскости $R=2.0$ км, по вертикали $H=1.0$ км.

Для анализа результатов расчетов авторами разработана программа трехмерной визуализации данных моделирования, адаптированная для изучения строения облаков [7].

Начальное состояние параметров тропосферы в пространственной области задавалось по данным аэрологического зондирования в Северо-Кавказском регионе РФ в летний период.

Результаты расчетов. Остановимся на результатах исследований формирования термогидродинамических, микроструктурных и электрических параметров конвективных облаков при неустойчивом состоянии атмосферы. Были использованы данные аэрологического зондирования атмосферы в аэропорту Минеральные Воды.

На рис.1 приведены область сосредоточения капельной фракции (1) и область формирования крупных (более 200 мкм) ледяных частиц (2) на 30-й минуте развития облака. Также изображена изоповерхность радиолокационной отражаемости 10 dBZ. Для текущего распределения воздушных потоков в облаке изображены линии тока, которые показывают что подпитка облака происходит с различных направлений и различных высотных уровней. Высота облака - 12 км, максимальная отражаемость 65 dBZ. Потоки воздуха представлены линиями тока. Ячейки вспомогательной сетки имеют размеры 2×2 км.

По результатам расчетов ледяная фаза в облаке образуется за счет замерзания капель, дальнейший рост крупных ледяных частиц, крупы и градин происходит за счет аккреции.

При расчете электрических параметров облака принято условие, что формирование и накопление электрических зарядов в облаке происходит в результате замерзания капель и процесса аккреции (взаимодействия капель и кристаллов). Вследствие разности скоростей падения в воздухе микроскопков, заряжающихся преимущественно положительно, и более крупных частиц, крупы и града, заряжающихся преимущественно отрицательно, происходит пространственное разделение зарядов: в предвершинной части облака преобладает положительный объемный

заряд, ниже - отрицательный. По результатам моделирования были исследованы, помимо других параметров, пространственное распределение суммарного объемного заряда и напряженность электростатического поля в облаке в различные моменты времени.

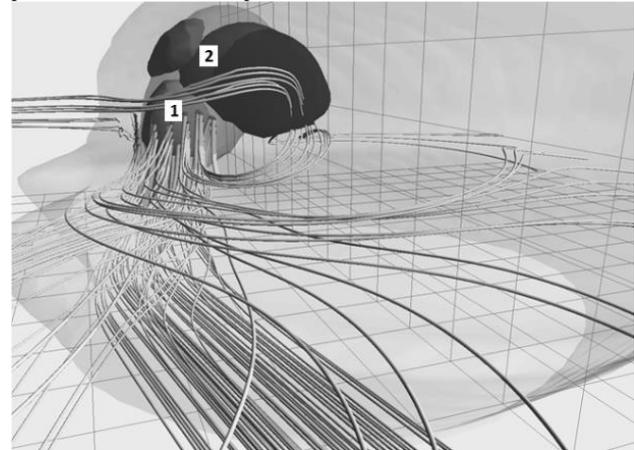


Рис.1. Область сосредоточения капельной фракции (1) и область формирования крупных ледяных частиц (2) на 30 минуте развития облака.

На 30-й минуте развития облака потенциал электрического поля составлял порядка $1,8 \cdot 10^9$ В. Компоненты напряженности поля имели значения $E_x, E_y \approx 1600$ В/см, $E_z \approx 2000$ В/см. Результаты расчетов согласуются с данными, приведенными в работе [8].

Примерно к 40-й минуте облако достигает максимальной стадии развития и уже дает жидкие и твердые осадки. На рис. 2 представлены вертикальные и горизонтальные потоки в зоне облака в момент времени $t=40$ мин. Максимальное значение $w = 29$ м/с отмечается на уровне $z=6000$ м, нисходящие потоки составляют -3.2 м/с. Восходящий поток имеет небольшой наклон по направлению горизонтального потока воздуха. Максимальное значение интенсивности осадков в момент 40 мин составляет 99 мм/ч. На рис.2 приведены: потоки воздуха (векторное поле) в вертикальной плоскости, пересекающей облако; изоповерхность мощного восходящего потока $w=15.6$ м/с (трехмерная поверхность в центре рисунка); изолинии вертикальной скорости; изолинии интенсивности осадков у поверхности земли (в горизонтальной плоскости). Ячейки горизонтальной и вертикальной сеток на рисунке имеют размер 2×2 км.

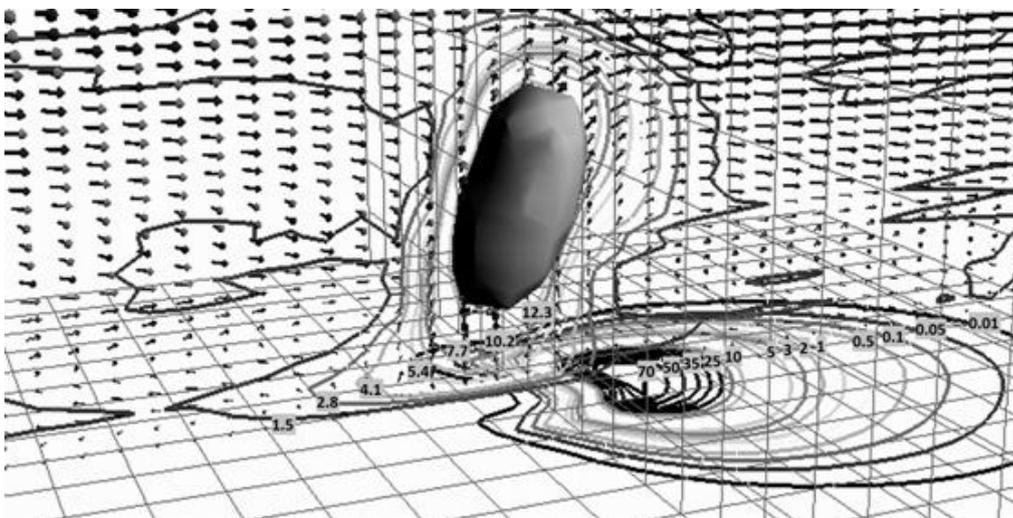


Рис.2. Строение мощного конвективного облака в момент времени $t=40$ мин.

Максимум потенциала наблюдается в верхней фронтальной части облака (в районе «наковальни»). Область максимума потенциала находится на 5-10 км впереди зоны осадков. Напряженность электростатического поля на 40-й минуте составляет 2000-2500 В/см.

С помощью функций распределения по размерам капель и ледяных частиц вычислялись значения радиолокационной отражаемости на нескольких длинах волн метеорологических радиолокаторов (3,2 и 10 см), по этим данным построена трехмерная радиолокационная структура облака. В численных экспериментах наблюдался свес радиоэхо в зоне восходящего потока. Структура радиоэха модельного облака согласуется с данными наблюдений грозоградных облаков в стадии максимального развития.

Рассчитанные в каждый момент времени в узлах пространственной сетки значения напряженности электростатического поля учитывались в нашей модели при расчете коэффициентов коагуляции капель и кристаллов. Были проведены численные эксперименты с учетом электрической коагуляции облачных частиц и без её учета. Сравнение времени образования осадков в этих двух случаях показало, что за счет электрической коагуляции время роста частиц осадков в мощном конвективном облаке существенно сокращается (приблизительно на 20-30%).

Результаты моделирования на основе представленной трехмерной модели показывают, что процессы в конвективных облаках оказывают взаимное влияние друг на друга, т.е., имеет место взаимодействие различных физических

процессов. В частности, динамические процессы оказывают значительное влияние на формирование полей термодинамических параметров в облаке, которые, в свою очередь, определяют ход микрофизических процессов и характер роста частиц осадков.

Необходимость изучения взаимодействия процессов в конвективных облаках связана с их важной ролью. Следует подчеркнуть, что единственным инструментом изучения облачных процессов, с учетом их взаимодействия между собой является математическое моделирование. Другими методами изучить эмерджентные свойства облаков не представляется возможным.

Заключение:

Определены термогидродинамические и микроструктурные параметры в зоне конвективного облака в различные моменты времени, исследован характер циркуляции воздуха.

Исследовано формирование положительного и отрицательного объемных электрических зарядов, рассчитаны характеристики электростатического поля на разных стадиях развития.

Учтены процессы электрической коагуляции при формировании микроструктуры мощных конвективных облаков.

Взаимодействие различных физических процессов в облаках играет важную роль в формировании их микроструктурных характеристик.

Литература:

1. Коган Е.Л., Мазин И.П., Сергеев Б.Н., Хворостьянов В.И. Численное моделирование облаков. - М.: 1984. - 186 с.
2. Cotton, W.R. and coauthors. RAMS. Current status and future directions// Meteor. Atmos. Phys. — 2001. — V. 82. — P. 5–29.
3. Khvorostyanov, V.I., Curry J.F. Thermodynamics, Kinetics, and Microphysics of Clouds. Cambridge University Press, 2014. 782 p.
4. Straka J.M. Cloud and precipitation microphysics. Principles and Parameterizations.- Cambridge University Press, 2009.- 392 P.
5. Ашабоков Б.А., Шаповалов А.В. Конвективные облака: численные модели и результаты моделирования в естественных условиях и при активном воздействии.- Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2008.- 254 с.
6. Куповых Г.В., Ашабоков Б.А. и др. Численное моделирование электрических характеристик конвективных облаков // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. - 2012, № 6. - С.65-68.
7. Шаповалов, А.В., Шаповалов В.А. Трехмерная визуализация геофизической информации для решения прикладных задач// Наука. Инновации. Технологии, 2014. № 1. -С. 65-71.
8. Rawlins F. A numerical study of thunderstorm electrification using a three dimensional model incorporating the ice phase. Quart.Jour. of the Royal Met. Society, 1982, V.108. — P.779-801.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Разработка редактора 3D-моделей как пример подхода к созданию современного веб-приложения

Беляев Антон Викторович, студент

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Работа посвящена процессу создания редактора моделей для 3D-печати, выполненного в виде распределенного приложения в соответствии с современными подходами к разработке ПО. Разработан эргономичный графический интерфейс пользователя в соответствии с выдвинутыми требованиями и возможностями «движка» обработки моделей. Разработана серверная часть для поддержки операций над моделями. Проведено тестирование изначальной архитектуры на предмет недостатков и предложен ряд решений, устраняющих их. Оптимизированная схема показывает сокращение, как времени передачи данных, так и объема самих данных, а также ряд других технических улучшений.

Ключевые слова: 3D-печать, веб-приложение, клиент-серверная архитектура, двухзвенная архитектура, оптимизация веб-приложений.

В настоящее время технология 3D-печати активно набирает популярность. Прототипирование с помощью 3D-моделей находит применение в самых разных отраслях. Этому способствует, как удешевление самого процесса печати, так и развитие сопутствующей инфраструктуры. Инфраструктуру можно разделить на профессиональное и непрофессиональное ПО. При этом наблюдается переход «из крайности в крайность»: профессиональное ПО (например, Blender, 3D Max), зачастую, обладает избыточной функциональностью, что затрудняет вхождение в эту сферу, а непрофессиональное ПО (SketchUp) создано в первую очередь для развлекательных целей и не может быть использовано в профессиональной деятельности.

Таким образом, появляется необходимость в решении конкретной задачи прототипирования объекта, без необходимости погружения в область 3D-моделирования. Эта задача в настоящее время может быть решена с помощью графического редактора в виде веб-приложения.

Существует множество библиотек, написанных на разных языках программирования, выполняющих преобразование моделей для 3D-печати. Большинство подобных библиотек выполняют ряд стандартных, булевых операций над объектами: объединение, пересечение, дополнение. Подробно останавливаться на них не имеет смысла. Стоит лишь упомянуть ключевые элементы: входными и выходными данными, как правило, являются файлы формата STL. Этот **стереолитографический формат** (представленный еще в 1987 году) является стандартным способом представления моделей в виде набора треугольников. Очевидно, что точность представления модели прямо пропорциональна количеству треугольников и, соответственно, объему модели на выходе. Это продемонстрировано на рис. 1. на примере сферы.

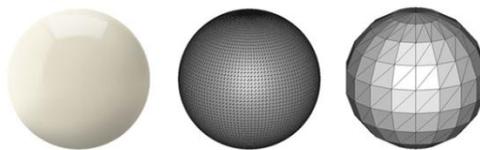


Рис. 1. Трингулированная с различной точностью сфера

Объем модели напрямую влияет на скорость выполнения операций над ней и на время, затрачиваемое на передачу данных по сети. Стоит также отметить, что преобразование модели — ресурсоемкая операция и для ее выполнения необходимо располагать значительной вычислительной мощностью.

Исходя из этой особенности и имеющегося в данный момент ПО для обработки STL можно сформулировать ряд требований к редактору:

- поддержка выполнения операций над STL-моделями;
- кроссплатформенность;
- удобный эргономичный пользовательский интерфейс;
- невысокие требования к аппаратному обеспечению пользователя.

Выдвинутые ранее требования могут быть удовлетворены при разработке редактора в виде веб-приложения: та-

кое приложение кроссплатформенно по определению, требует наличия у пользователя лишь веб-браузера, а интерфейс может быть с легкостью адаптирован в том числе и для мобильных устройств, расширяя таким образом аудиторию веб-сервиса. Ресурсоемкие задачи при этом происходят на удаленном сервере, а пользователю отправляются лишь результаты.

Веб-сервис является реализацией **двухзвенной архитектуры**: первое звено — клиентское приложение с графическим интерфейсом, доступное в браузере, второе звено — серверная часть, выполняющая всю логику приложения. Взаимодействие происходит посредством сетевого протокола (как правило, HTTP). Разработка веб-приложения начинается с проектирования пользовательского интерфейса. Далее согласуется протокол взаимодействия — набор правил обмена сообщениями между «клиентом» и сервером: содержание сообщений, их порядок и т.д. Далее

разрабатывается серверная часть. Таким образом, простейшая схема взаимодействия представлена на рис. 2. Стиль взаимодействия —

REST (Representational State Transfer, передача состояния управления).

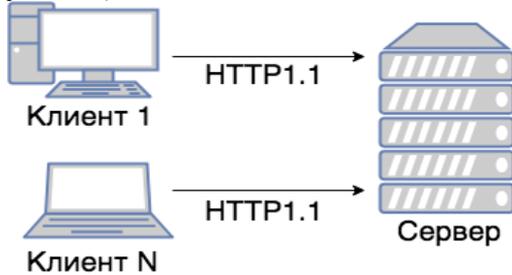


Рис.2. Схема взаимодействия компонентов

Ориентированной на конечного пользователя частью веб-сервиса является клиентское приложение. Это приложение с графическим интерфейсом, работающее внутри веб-браузера (Firefox, Chrome, Opera).

Специфика работы с форматом STL в клиентской части заключается в следующем: для эффективной визуализации модели необходимо использовать **шейдерную графику**

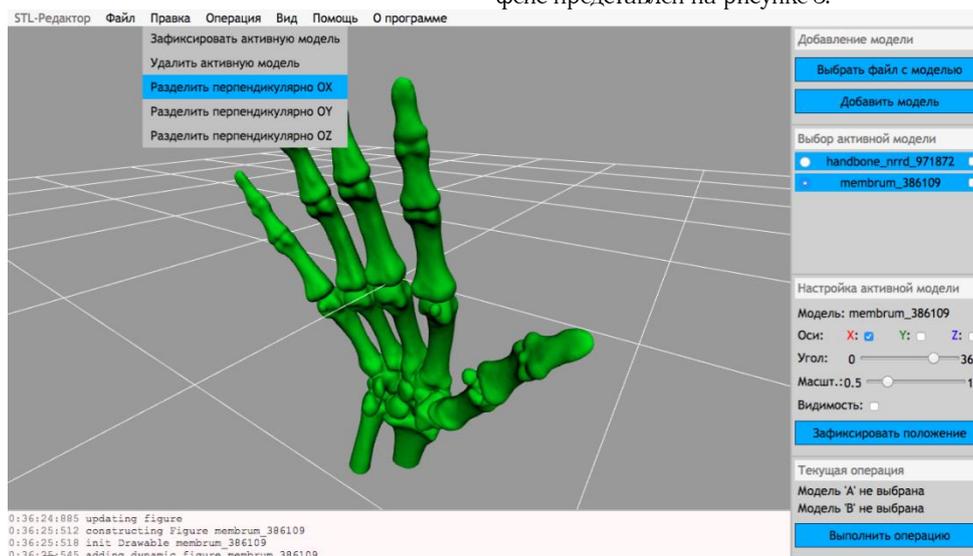


Рис. 3. Пользовательский интерфейс приложения.

Серверная часть веб-приложения (так называемый «бэкенд») должна выполнять заложенную в приложение логику (преобразование 3D-моделей) и предоставлять результат выполнения клиентской части. Бэкенд был спроектирован в соответствии с **Domain Driven Design (DDD) методологией**:

- выделена предметная область (нижний слой), состоящая из графических примитивов, представленных в декартовой системе координат (точки, векторы, треугольники, сетки из треугольников);

- выделен «слой» приложения — набор функций, выполняемых над объектами предметной области (операции над векторами, преобразование набора векторов в треугольник);

- отдельно спроектирован компонент для взаимодействия с клиентской частью (верхний слой).

Таким образом доменный слой (предметная область) не меняется при любых изменениях логики работы приложения. Это справедливо для всех уровней: изменение на каком-

либо уровне не затрагивают остальную часть приложения [1]. Схематично устройство изображено на рис. 4.

С технической точки зрения бэкенд разработан на языке Rust с использованием минималистичного веб-фреймворка Rocket.

С технической точки зрения, схема, приведенная на рис. 2 является простой и надежной. Однако, в ходе проведения преобразований объемных моделей был обнаружен ряд недостатков, самый существенный из которых — **низкая эффективность передачи данных по сети**. Стоит заметить, что файлы при передаче преобразуются в строку алгоритмом Base64. Алгоритм является стандартом, но имеет недостаток: объем данных возрастает на треть. Таким образом, при объединении двух моделей размером в 100 МБ на сервер будут отправлены ~ 270 МБ данных и столько же может быть отправлено в ответ. Таким образом, становится критична скорость передачи данных по сети.

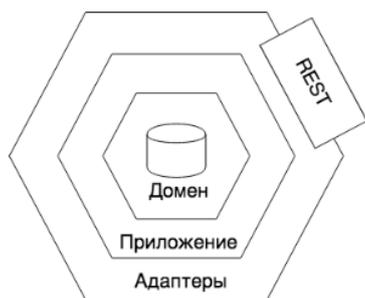


Рис. 4. Структура слоев серверной части приложения

Оптимизация может быть сведена к двум задачам: увеличение пропускной способности канала и уменьшение объема передаваемых данных.

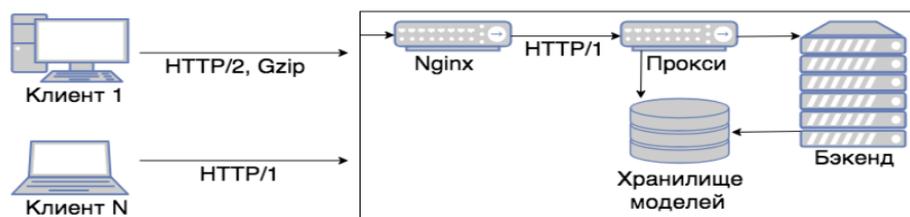


Рисунок 5. Оптимизированная архитектура

Клиенты, представленные браузерами могут обращаться к серверной части как по протоколу HTTP/1 так и по HTTP/2, в том числе и с использованием сжатия gzip. Весь входящий трафик проходит через реверс-прокси сервер Nginx, терминирующий HTTP/2 трафик и шифрование, а также кэширующих запросы. Предполагается, что все серверные компоненты находятся на одном хосте и таким образом протокол (HTTP/1 и /2) не играет роли, а между компонентами т.н. «доверительные отношения».

Хранилище моделей есть высокопроизводительное in-memory хранилище Redis, чтение и запись в которое значительно быстрее, по сравнению с файловой системой.

Дополнительный прокси-сервер обеспечивает возможность совместной работы пользователей над одной моделью и реализован на языке Go, что обеспечивает высокую производительность. Бэкенд по-прежнему выполняет преобразование моделей.

В дополнение ко всему, система была контейнеризована посредством использования Docker (Compose) — «посредника» между нативным **механизмом контейнеризации** в

Литература:

1. Catalog of Patterns of Enterprise Application Architecture. URL: <https://www.martinfowler.com/eaCatalog/index.html> (дата обращения: 22.03.2018)
2. HTTP/2: Background, Performance Benefits and Implementations. URL: <https://www.sitepoint.com/http2-background-performance-benefits-implementations/> (дата обращения: 17.06.2018)
3. Как работает сжатие GZIP. URL: <https://habr.com/post/221849/> (дата обращения: 24.05.2018)

УДК 629.7.064(075)

Математическая модель гидропривода руля направления с прямым управлением

Бондаренко Роман Александрович, магистрант
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение

Согласно выводам представленным в материалах [1]–[4]

• В системах управления рулями (СУР) рули направления (РН) используют необратимые рулевые приводы, у которых гидродвигатель воспринимает аэродинамическую нагрузку на выходном звене полностью.

Вместо используемого в первоначальном подходе протокола HTTP 1.1 (представленного в 1999 году) был внедрен протокол **HTTP/2**, использующий сжатие заголовков, мультиплексирование (отправка нескольких запросов за одно соединение) и ServerPush — технологию, при которой сервер может отправить ресурсы еще до запроса их клиентом. [2]

Уменьшение объема передаваемых данных было решено внедрением алгоритма сжатия gzip — «**сжатие без потерь**» (данные могут быть однозначно восстановлены из сжатого состояния). Gzip использует алгоритм LZ77 и алгоритм Хаффмана, обеспечивая компромисс между степенью сжатия и скоростью этого процесса. [3]

Подобная оптимизация потребовала изменения схемы взаимодействия. Оптимизированная схема представлена на рис. 5.

ядре Linux и контейнером — экземпляром исполняемого пакета со всем необходимым для запуска приложения — кодом, средой выполнения, библиотеками. После этого становится возможна кластеризация системы, что обеспечивает отказоустойчивость и горизонтальную масштабируемость.

После оптимизации объем передаваемых данных был снижен на ~50%, а скорость взаимодействия возросла на ~30%.

В заключение следует сказать, что работа демонстрирует один из возможных способов создания графического редактора 3D-моделей (в формате STL) на основе веб-приложения. Была предложена как «наивная» реализация архитектуры, так и оптимизированная, устраняющая ряд недостатков первоначальной реализации. Это привело к значительному повышению производительности всей системы, а также дало возможности дальнейшего развития в сторону высокопроизводительного веб-сервиса.

- Широко применяют секционирование рулей и резервирование.
- Отдают предпочтения рулевым приводам (РП), состоящим из параллельно установленных однокамерных гидроприводов с резервированием предпочтительно по методу замещения.
- Для восприятия ветровых нагрузок на стоянке при выключенных гидросистемах используют гидропривод с демпфированием с помощью дроселирования жидкости в самом рулевом приводе, а заполнение гидропривода жидкостью осуществляется от гидросистемы или от дополнительного гидроаккумулятора, встроеного в РП.

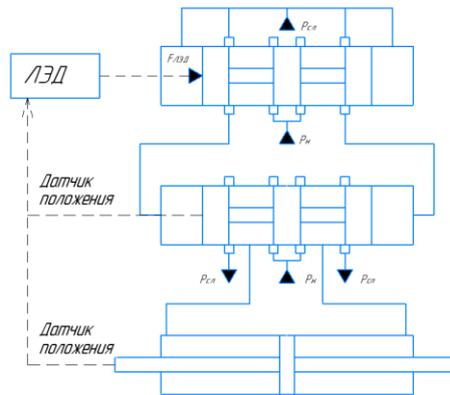
А также актуальности конструктивных решениях была создана модель с прямым управлением.

В связи с тем, что в работах [5][9] имеют общие тематики с данной работой, и представляют дополнительное понимание задач и вопросов построения гидросистемы, с которыми возможно столкнуться в данной работе.

Работы с [10][14] являются актуальными, так как предоставляют дополнительную и информацию решение задач математического моделирования процессов в гидросистемах.

1. Разработка модели.

Сигнал от руля пилота передаётся на Линейный электродвигатель. Где данный сигнал преобразуется в перемещение иглы, которая толкает верхний золотник. В следствии чего в верхнем золотнике происходит перераспределение потока. В нижнем золотнике нарушается силовой баланс, и он смещается, что приводит в действие ГЦ. Также присутствуют обратные связи по положению гидроцилиндра и золотника. Математическая модель создавалась в системе MathLab.



1.Рис. Упрощённая гидравлическая схема с обратными связями по положению.

В данной схеме отсутствует работа ГЦ, как демфера. В следствии верхний и нижний золотники имеют упрощённую структуру, как и каналы связи.

2. Мат.модель.

Параметры золотникового силового распределителя (нижнего):

- Диаметр золотника: $d_3 = 5 \text{ мм}$;
- Площадь торца золотника: $S_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.005^2}{4} = 19.63 \text{ мм}^2$
- Количество окон: $n_{ок} = 4$;
- Ширина окон: $b_{ок} = 1.26 \text{ мм}$;
- Перекрытие золотника: $\Delta_3 = 5 \text{ мкм}$;
- Радиус скругления кромок золотника: $R_3 = 5 \text{ мкм}$;
- Радиальный зазор золотника: $\delta_3 = 2 \text{ мкм}$;
- Коэффициент расхода: $\mu_3 = 0.71$;
- Масса золотника: $m_3 = 98 \text{ г}$;
- Объем полостей под торцами золотника: $V_{31} = V_{32} = 1 \text{ мл}$

Площадь открытия окон гильзы с учетом микрогеометрии золотника:

$$f_{отк}(x) = \begin{cases} b_{ок} \cdot n_{ок} \cdot \sqrt{(2R_3 + \delta_3)^2 + 0.25 \cdot ((2 \cdot R_3 - \Delta_3 + x) + |2 \cdot R_3 - \Delta_3 + x|)^2} - 2 \cdot R, & x < x_{ок} \\ b_{ок} \cdot n_{ок} \cdot \sqrt{(2R_3 + \delta_3)^2 + 0.25 \cdot ((2 \cdot R_3 - \Delta_3 + x_{ок}) + |2 \cdot R_3 - \Delta_3 + x_{ок}|)^2} - 2 \cdot R, & x \geq x_{ок} \end{cases}$$

$$f_{зак}(x) = \begin{cases} b_{ок} \cdot n_{ок} \cdot \sqrt{(2R_3 + \delta_3)^2 + 0.25 \cdot ((2 \cdot R_3 - \Delta_3 - x) + |2 \cdot R_3 - \Delta_3 - x|)^2} - 2 \cdot R, & x \geq -x_{ок} \\ b_{ок} \cdot n_{ок} \cdot \sqrt{(2R_3 + \delta_3)^2 + 0.25 \cdot ((2 \cdot R_3 - \Delta_3 + x_{ок}) + |2 \cdot R_3 - \Delta_3 + x_{ок}|)^2} - 2 \cdot R, & x < -x_{ок} \end{cases}$$

Уравнение движения золотника:

$$m_3 \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + k_{мп-3} \cdot \frac{dx}{dt} + 2 \cdot (c_{np} + c_{сд}) \cdot x = (p_{31} - p_{32}) \cdot S_3$$

Уравнения баланса расходов:

$$Q_1 = Q_{ниц1} + Q_{сц1}$$

$$Q_2 = Q_{ниц2} + Q_{сц2}$$

Уравнения расходов через дросселирующие щели золотниковой пары:

$$Q_{ниц1} = \mu_3 \cdot f_{отк}(x) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_n - p_1|}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_n - p_1)$$

$$Q_{сц1} = \mu_3 \cdot f_{зак}(x) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{сл} - p_1|}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_{сл} - p_1)$$

$$Q_{ниц2} = \mu_3 \cdot f_{зак}(x) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_n - p_2|}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_n - p_2)$$

$$Q_{сц2} = \mu_3 \cdot f_{отк}(x) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{сл} - p_2|}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_{сл} - p_2)$$

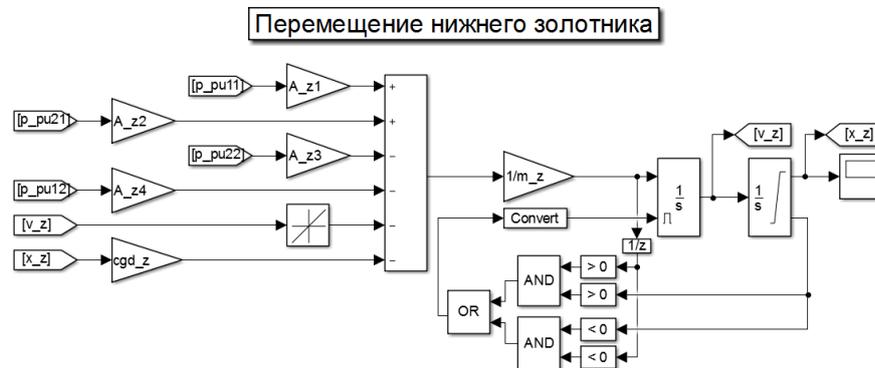


Рис.2. Структурная схема модели перемещения нижнего золотника.



Рис.3. Структурная схема модели расходов через нижний золотник.

Параметры гидроцилиндра:

- Площадь поршня в полости 1 гидроцилиндра:

$$S_1 = \frac{\pi(D_{п}^2 - d_{ф.шт}^2)}{4} = \frac{\pi(0.077^2 - 0.038^2)}{4} = 0.0035$$

- Площадь поршня в полости 2 гидроцилиндра:

$$S_2 = \frac{\pi(D_{п}^2 - d_{шт}^2)}{4} = \frac{\pi(0.077^2 - 0.052^2)}{4} = 0.0025 \text{ м}^2$$

- Объем полости 1 в начальном положении штока: $V_{м1} = 235 \text{ мл}$
- Объем полости 2 в начальном положении штока: $V_{м2} = 170 \text{ мл}$
- Коэффициент вязкого трения: $k_{мп} = 5000 \text{ Н / (м / с)}$
- Приведенная к штоку масса: $m_{np} = 120 \text{ кг}$

В качестве рабочей жидкости было выбрано масло АМГ-10 со следующими характеристиками:

Плотность: $\rho = 935 \text{ кг/м}^3$

Модуль объемной упругости: $E_{жс} = 1300 \text{ МПа}$

Уравнение движения штока с приведенной массой:

$$m_{np} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + k_{mp} \cdot \frac{dy}{dt} = p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2$$

Уравнения баланса расходов в полостях гидроцилиндра:

$$Q_1 = Q_{сжс1} + S_1 \cdot \frac{dy}{dx}$$

$$Q_2 = Q_{сжс2} - S_2 \cdot \frac{dy}{dx}$$

Расход сжатия:

$$Q_{сжс1} = \frac{V_1}{E_{жс}} \cdot \frac{dp_1}{dt}$$

$$Q_{сжс2} = \frac{V_2}{E_{жс}} \cdot \frac{dp_2}{dt}$$

Объем полостей гидроцилиндра:

$$V_1 = V_{м1} + y \cdot S_1$$

$$V_2 = V_{м2} - y \cdot S_2$$

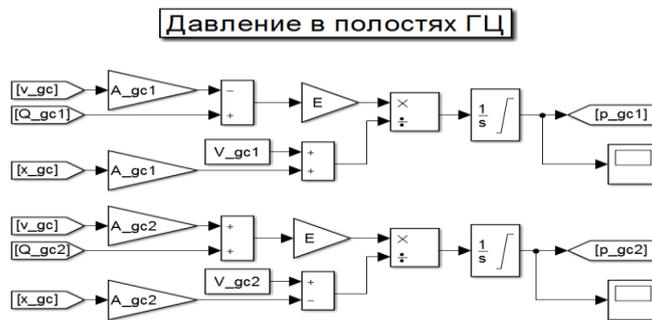


Рис.4. Структурная схема модели давления в полостях ГЦ

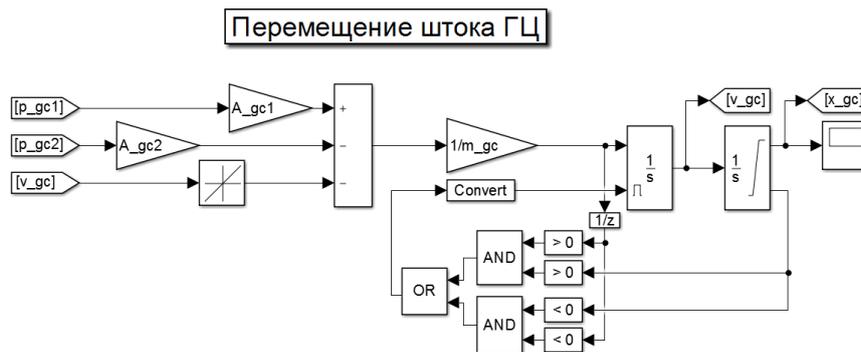
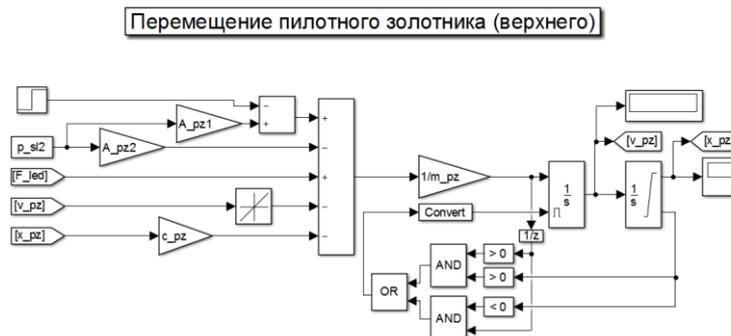


Рис.5. Структурная схема модели перемещения ГЦ

На pilotный золотник влияет сила создаваемая ЛЭДом. Структурная схема pilotного золотника примет вид:



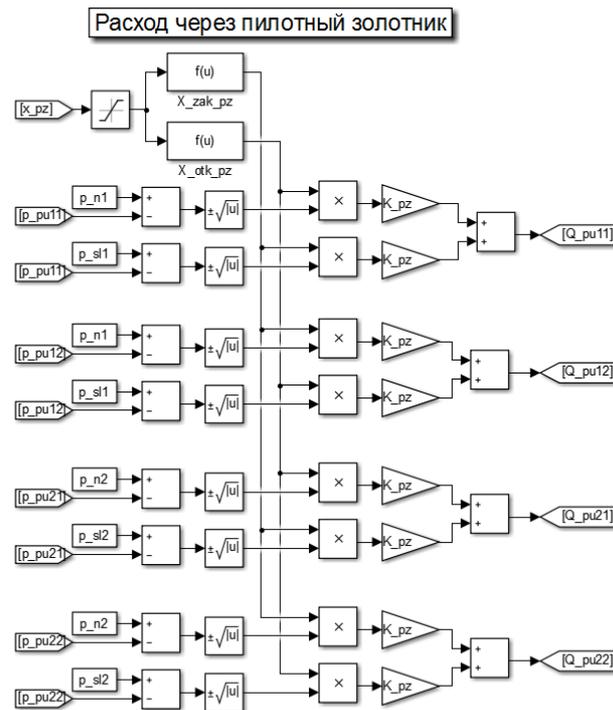


Рис.6. Структурная схема перемещения и расхода пилотного золотника.

3. Анализ полученной модели

Задаём единичный ступенчатый сигнал, который поступает в систему с заданной задержкой в одну секунду.



Рис.7. График переходного процесса выдвигания ГЦ.

Так как перемещение ГЦ удовлетворяет расчётным параметрам, определяем запасы по амплитуде и фазе в полученном переходном процессе.

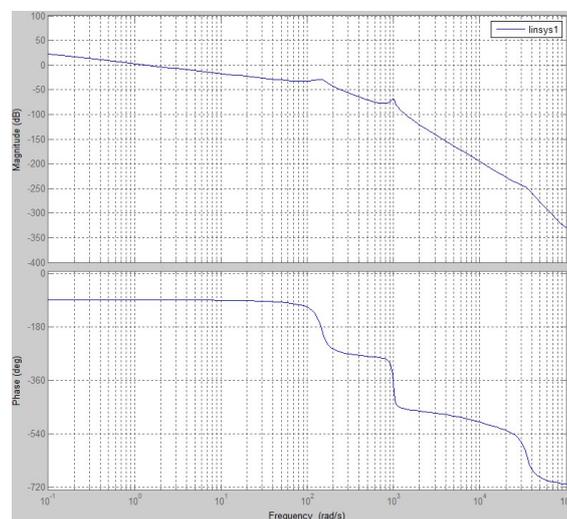


Рис.8. ЛАХ и ФЧХ разомкнутого контура процесса выдвигания ГЦ.

Из рис. 8 видно, что запасы по амплитуде равен 30 дБ, а по фазе 90°.

3.1. Исследование модели на сухое трение

Для симуляции сухого трения моделируем дополнительные усилия на золотниках в 10% от перепада давления, а также дополнительные усилия на гидроцилиндре в 10% от развиваемого усилия.

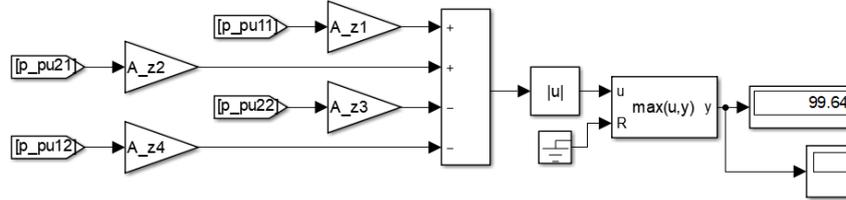


Рис.9. Структурная схема нахождения разности усилий на торце одного золотника.

В данной схеме определялось максимальное усилие на торцах золотника за всё время моделирования. От которого и находим 10% от усилий.

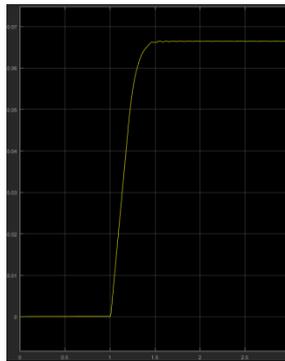


Рис.10. График переходного процесса выдвигания ГЦ с сухим трением.

Вывод

Данная модель имеет хорошие запасы по амплитуде и фазе, а значит она может быть использована для создания гидропривода руля направления самолёта с прямым управлением.

Литература:

1. Шумилов И.С. Системы управления рулями самолётов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 469 с.
2. Шумилов И.С. Применение авиационных правил АП25 при создании гидравлических систем управления стационарными и мобильными объектами// Инженерный вестник. Электронный журнал 2014. - № 11
3. Фомичёв В.М. Проектирование цилиндрических золотниковых распределителей следящих электрогидравлических приводов. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
4. Бондаренко Р.А., Шумилов И.С. Гидропривод руля направления для пассажирских самолетов// Гидравлика 2017. - № 3
5. Шумилов И.С., Цыганов А.С. Аварийные ветронасосные установки (ВНУ) для авиационных гидросистем// Гидравлика 2017. - № 3
6. Шумилов И.С., Шульжицкий А.А. Анализ надежности и отказобезопасности авиационных топливных систем, перспективы альтернативных путей повышения надёжности топливных систем// Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2017. - № 2
7. Шумилов И.С. Математическое моделирование системы торможения колёс шасси магистрального самолёта// Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация 2016. - № 01
8. Шумилов И.С. Температура рабочей жидкости авиационных гидросистем// Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация 2016. - № 2. - С. 51 – 75
9. Шумилов И.С. Рулевые приводы с автономным гидропитанием (АРП) для магистральных самолётов// Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2014. - № 8
10. Попов Д.Н. Сосновский Н.Г., Сиухин М.В. Компьютерное моделирование гидросистем с типовыми нелинейными характеристиками// Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2017. - № 7
11. Попов Д.Н. Сосновский Н.Г., Сиухин М.В. Управление синергетическими процессами для обеспечения асимптотической устойчивости гидросистем// Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Серия "Естественные науки" 2017. - № 3. - С. 37 – 51
12. Попов Д.Н. Сосновский Н.Г., Сиухин М.В. Регулирование волновых процессов в гидросистемах// Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2016. - № 10
13. Попов Д.Н. Сосновский Н.Г., Сиухин М.В. Гидродинамическая нагруженность роторов центробежных насосов при переходных процессах// Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2011. - № 12
14. Попов Д.Н., Сосновский Н.Г. Динамические характеристики линий связи с распределенными параметрами для управления гидроприводами с дроссельным регулированием// Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана 2015. - № 9

Исследование динамики калибратора давления с регулятором расхода

Бухтатый Павел Сергеевич, студент;
Лысова Алена Александровна, доцент
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

Аннотация. Представлено исследование динамики калибратора давления.

Ключевые слова: калибратор давления, динамические характеристики, регулятор расхода.

Калибраторы давления — это эталонные приборы, предназначенные для поверки и калибровки в полевых и лабораторных условиях средств измерений давления, непосредственно отображающих значение давления и/или имеющих различные аналоговые (ток, напряжение, состояние реле) выходные сигналы [1].

“Определение статических и в особенности динамических характеристик датчиков переменного давления экспериментальным путем всегда представляло собой достаточно сложную инженерную задачу” [2, с.32].

На рисунке 1, представлена пневматическая схема калибратора давления с регулятором расхода, используемая для вывода динамических уравнений изменений давления в междроссельных камерах.

На рисунке 1 используются следующие обозначения:

$D_{r1} - D_{r3}$ — регулируемые дроссели;

$D_{r4} - D_{r7}$ — постоянные дроссели;

$D_{пзм}$ — переменный дроссель образованный парой ”сопло-поршень”;

p_0 — давление питания;

p_a — атмосферное давление.

Дроссели управляются разностью давлений текущей и последующей камеры.

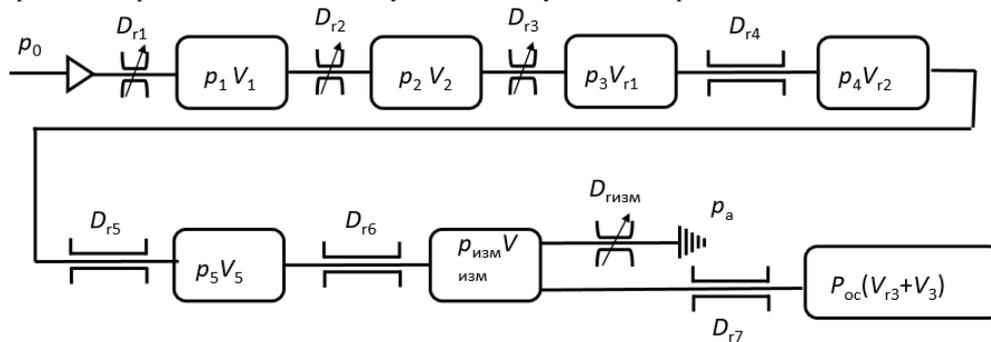


Рис. 1. Пневматическая схема калибратора давления с регулятором расхода

Принцип действия основан на динамическом взаимодействии тела и потока воздуха. Основной элемент — преобразователь силы в давление, представляет собой переменный дроссель образованный парой сопло-поршень ($D_{пзм}$). “Пневматические дроссели являются одним из основных конструктивных элементов пневматических устройств и служат для создания сопротивления течению газа и перепада давлений” [3, с.24]. Поршень в виде усеченного конуса свободно расположен в проточной части сопла, при подаче давления воздуха в междроссельную камеру под влиянием динамических воздействий струи воздуха, поршень всплывает с сопла, перемещаясь на некоторую высоту x_r и остается во взвешенном состоянии, так как действующие на него силы взаимоуравновешены. В междроссельной камере при этом поддерживается постоянное давление, величина которого, определяется весом поршня и это давление является выходным давлением калибратора. Для поддержания заданной точности давления, в схему введен регулятор расхода. Регулятор расхода представляет собой из 7 пластин которые образуют две проточные междроссельные камеры, с объемами V_1 (входная камера), V_2 (выходная камера) и V_3 (глухая камера (камера обратной связи)). На входе и выходе камеры с объемом V_1 стоят переменные турбулентные дроссели D_{r1}, D_{r2} . На входе камеры с объемом V_2 стоит переменный турбулентный дроссель D_{r3} а на выходе регулируемый турбулентный дроссель D_{r3} . Подвижные элементы переменных дросселей связаны жесткими центрами сдвоенных вялых мембран. Пространство между мембранами связаны с атмосферой. С выхода дросселя D_{r3} воздух поступает на вход калибратора давления, а в камеру обратной связи воздух поступает из-под поршня.

Изменения давлений в междроссельных камерах калибратора давления запишем в виде:

$$\frac{d(p_1 V_1)}{RTdt} = G_1 - G_2; \quad \frac{d(p_2 V_2)}{RTdt} = G_2 - G_3; \quad \frac{V_{r1} dp_3}{RTdt} = G_3 - G_4; \quad \frac{V_{r2} dp_4}{RTdt} = G_4 - G_5;$$

$$\frac{V_5 dp_5}{RTdt} = G_5 - G_6; \quad \frac{d(p_{изм} V_{изм})}{RTdt} = G_6 - G_{изм} - G_7; \quad \frac{d(p_{oc}(V_{r3} + V_3))}{RTdt} = G_7.$$

После раскрытия производных и учета объемов междроссельных камер регулятора с учетом перемещения жестких центров, получим систему уравнений, которая описывает изменение избыточных давлений и перемещения жестких центров в калибраторе:

$$\begin{aligned} \frac{(V_{10} - x_1 F_{ef8})}{RT} \frac{dp_{1и}}{dt} - \frac{(p_a + p_{1и}) F_{ef8}}{RT} \frac{dx_1}{dt} &= G_1 - G_2; \\ \frac{(V_{20} - x_2 F_{ef10} + x_1 F_{ef9})}{RT} \frac{dp_{2и}}{dt} - \frac{(p_a + p_{2и}) F_{ef10}}{RT} \frac{dx_2}{dt} + \frac{(p_a + p_{2и}) F_{ef9}}{RT} \frac{dx_1}{dt} &= G_2 - G_3; \\ \frac{V_{r1} dp_{3и}}{RT dt} &= G_3 - G_4; \\ \frac{V_{r2} dp_{4и}}{RT dt} &= G_4 - G_5; \\ \frac{V_5 dp_{5и}}{RT dt} &= G_5 - G_6; \\ \frac{(V_0 - x_{п} F_c)}{RT} \frac{dp}{dt} - \frac{(p_a + p) F_c}{RT} \frac{dx_{п}}{dt} &= G_6 - G_{изм} - G_7; \\ \frac{(V_{r3} + V_{30} + x_2 F_{ef11})}{RT} \frac{dp_{оси}}{dt} - \frac{(p_a + p_{оси}) F_{ef11}}{RT} \frac{dx_2}{dt} &= G_7; \\ m_1 \ddot{x}_1 + k_{d1} \dot{x}_1 + p_{1и} F_{ef8} - p_{2и} F_{ef9} &= 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_{d2} \dot{x}_2 + p_{2и} F_{ef10} - p_{оси} F_{ef11} &= 0; \\ M(g + \ddot{x}_{п}) + k_{d1} \dot{x}_{п} - p F_c &= 0; \end{aligned}$$

где V_{10}, V_{30} – объемы камер в регуляторе расхода;

V_{r1}, V_{r2}, V_{r3} – объемы ресиверов;

m_1 и m_2 – массы жестких центров;

M – масса поршня;

F_c – площадь поршня.

При расчете статических характеристик были получены значения давлений и перемещений, которые будут учтены в анализе давлений и перемещений жестких центров и поршня, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения давлений и перемещений

Давления		Перемещения	
$p_{1и}$	8213,359	x_1	$2,137 \cdot 10^{-5}$
$p_{2и}$	4960,906	x_2	$1,153 \cdot 10^{-4}$
$p_{3и}$	3198,375	$x_{п}$	$1,344 \cdot 10^{-5}$
$p_{4и}$	3176,173		
$p_{5и}$	3052,0009		
p	2996,409		

На рисунке 2, представлен график давления под поршнем.

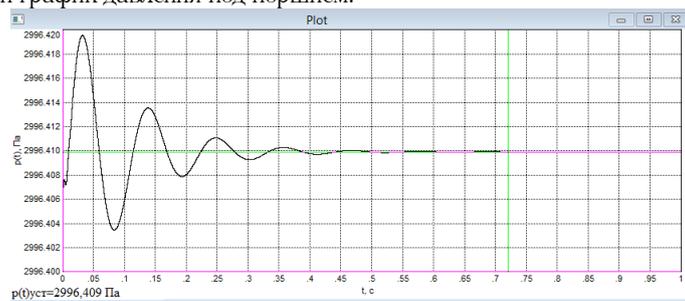


Рис.2. График давления под поршнем

В результате моделирования динамических характеристик в программе VisSim, получены графики расходов (Рис.3 и Рис.4).

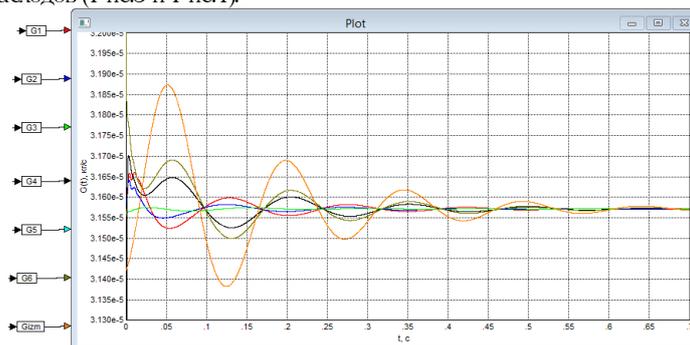
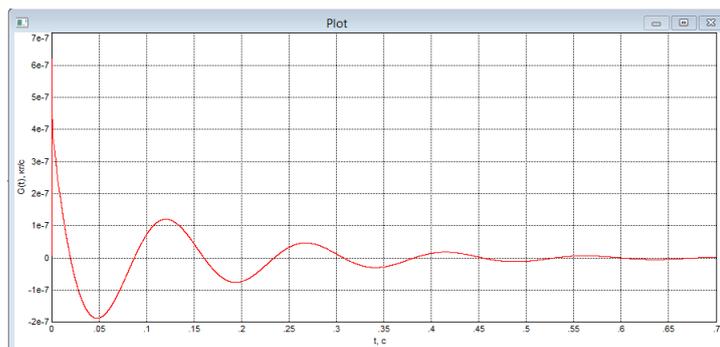
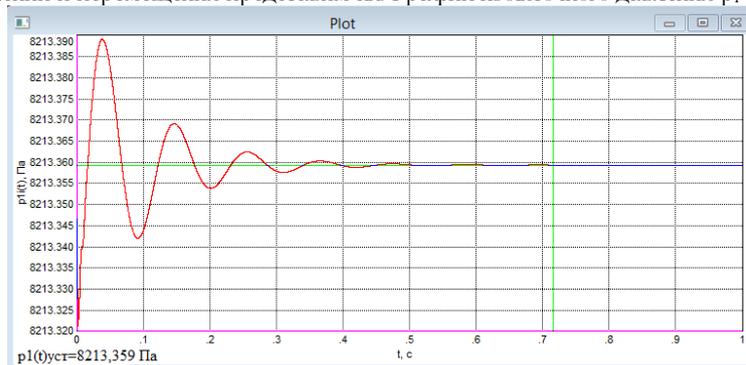


Рис.3. Графики расходов $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6, G_{изм}$

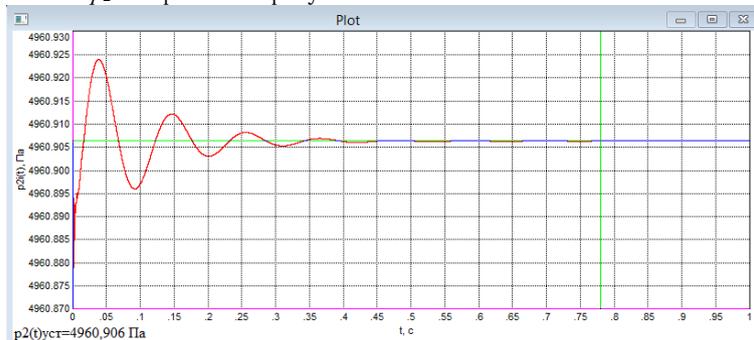
Рис.4. График расхода G_7

Получив графики давлений и перемещения представим их. График избыточного давления p_1 изображен на рисунке 5.

Рис.5. График давления p_1

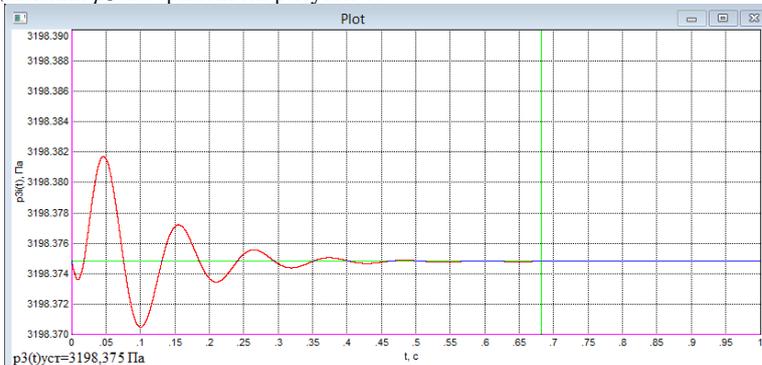
Из графика видно, что давление p_1 приходит к установившемуся значению, $p_1 = 8213,359$ Па. Время переходного процесса равно $0,7t_c$. Погрешность установившегося режима равна $0,01\%$.

График избыточного давления p_2 изображен на рисунке 6.

Рис.6. График давления p_2

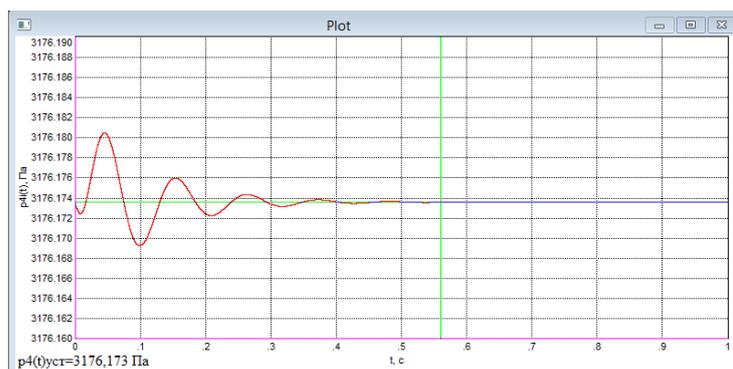
Из графика видно, что давление p_2 приходит к установившемуся значению, $p_2 = 4960,906$ Па. Время переходного процесса равно $0,7t_c$. Погрешность установившегося режима равна $0,01\%$.

График избыточного давления p_3 изображен на рисунке 7.

Рис.7. График давления p_3

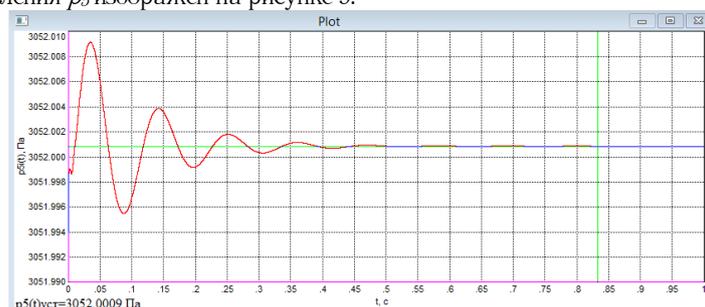
Из графика видно, что давление p_3 приходит к установившемуся значению, $p_3 = 3198,375$ Па. Время переходного процесса равно $0,68t_c$. Погрешность установившегося режима равна $0,01\%$.

График избыточного давления p_4 изображен на рисунке 8.

Рис.8. График давления p_4

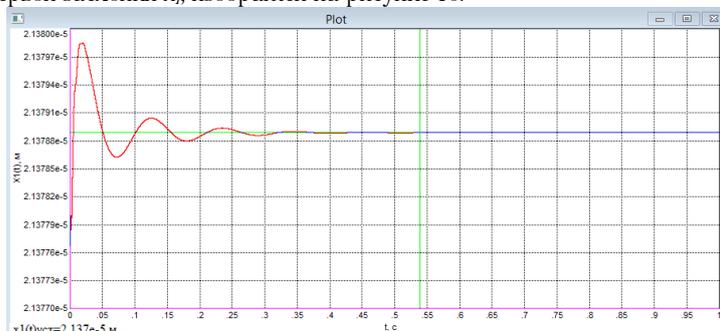
Из графика видно, что давление p_1 приходит к установившемуся значению, $p_4 = 3176,173$ Па. Время переходного процесса равно 0,55с. Погрешность установившегося режима равна 0,01%.

График избыточного давления p_5 изображен на рисунке 9.

Рис.9. График давления p_5

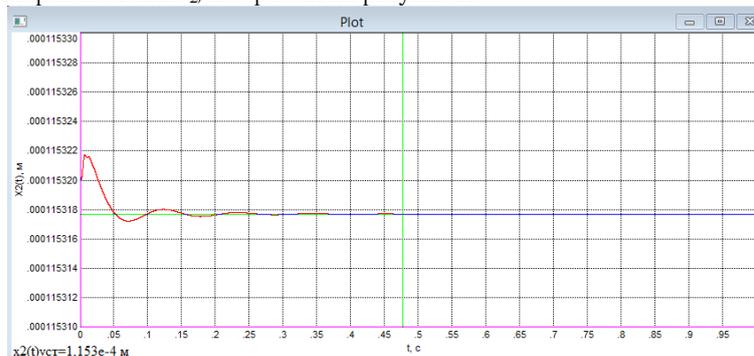
Из графика видно, что давление p_5 приходит к установившемуся значению, $p_5 = 3052,0009$ Па. Время переходного процесса равно 0,83с. Погрешность установившегося режима равна 0,01%.

График перемещения первой заслонки x_1 , изображен на рисунке 10.

Рис.10. График перемещения x_1

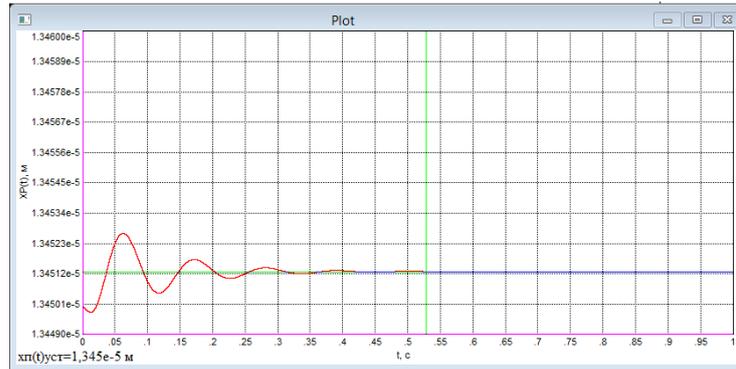
Из графика видно, что перемещение x_1 приходит к установившемуся значению, $x_1 = 2.137 \cdot 10^{-5}$ м. Время переходного процесса равно 0,53с. Погрешность установившегося режима равна 0,01%.

График перемещения второй заслонки x_2 изображен на рисунке 11.

Рис.11. График перемещения x_2

Из графика видно, что перемещение x_2 приходит к установившемуся значению, $x_2 = 1.153 \cdot 10^{-4}$ м. Время переходного процесса равно 0,47с. Погрешность установившегося режима равна 0,01%.

График перемещения поршня x_p , изображен на рисунке 12.

Рис.12. График перемещения x_p

Из графика видно, что перемещение x_p приходит к установившемуся значению, $x_p = 1.134 \cdot 10^{-5}$ м. Время переходного процесса равно 0,52с. Погрешность установившегося режима равна 0,01%.

В результате исследования установлено, что погрешность установившегося режима перемещений жестких центров и поршня составляет 0,01%. Давления и перемещения выходят на устойчивость до 0,9 секунд, что соответствует правильной работе прибора.

Литература:

1. Калибраторы давления, калибровочные насосы и регуляторы. - <http://www.artvik.ru/rus/pressure.html>.
2. Мясникова, Н.В. Система для исследования характеристик датчиков динамического давления / Н.В. Мясников, А.П. Панов, Б.В. Цыпин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013г. №4(6). – С. 32-36.
3. Дмитриев, В.Н. Основы пневмоавтоматики. / В.Н. Дмитриев, В.Г. Градецкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с.

Интенсифицированная теплоотдача в каналах прямоугольного профиля

Васильев Виктор Яковлевич, доктор технических наук, доцент
Ильин Роман Альбертович, кандидат технических наук, доцент
Астраханский государственный технический университет (г. Астрахань)

Высокая металлоёмкость и низкая компактность остаётся, по-прежнему, нерешённой проблемой многих теплообменных аппаратов (ТА) самого различного назначения. Особенно острой эта проблема является для ребристой аппаратуры, работающей в режимах сильно отличающихся величин коэффициентов теплоотдачи, например, $\alpha_1 \ll \alpha_2$ (конденсаторы воздушного охлаждения, воздухоохладители, охладители технологических потоков жидких продуктов, радиаторы силовых установок, градирни закрытого типа и т.п.).

Чаще всего способы искусственной турбулизации потока для интенсификации теплообмена, как в круглых, так и в некруглых каналах (рис.1) выбирались интуитивно [1-12].

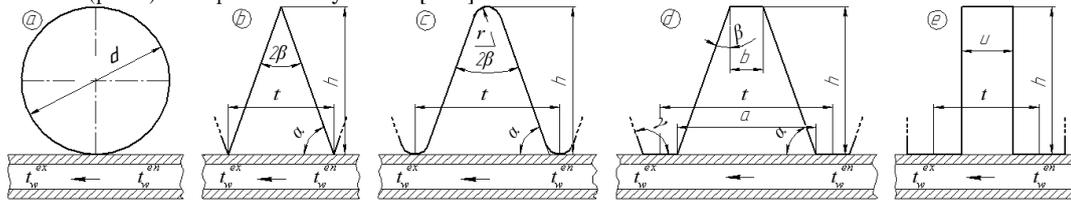


Рис. 1. Профили сечений каналов поверхностей теплообмена

Наиболее глубокие обобщающие анализы научных публикаций по интенсификации теплоотдачи в каналах сделаны авторами работ: [11] А.И. Михайловым, В.В. Борисовым, Э.К. Калинин; [8] Э.К. Калинин, Г.А. Дейцером, С.А. Ярхо; [5] Г.И. Ворониным, Е.В. Дубровским и др.

Во всех случаях, когда избранный метод искусственной турбулизации потока теплоносителя приводит к турбулизации всего потока или значительной его части (трубы с крупной нарезкой – шероховатостью, волнистые каналы, постановка проволочек в канале, большие диафрагмы, шайбы, спирали, сегментные и пропеллерообразные завихрители, ленточные спиральные турбулизаторы, сильно отогнутые в канал рёбра и т.д.) рост значений относительной гидравлической характеристики канала существенно опережает рост его относительной тепловой характеристики [7-9].

Выполненный авторами этап широких экспериментальных исследований рациональной интенсификации конвективного теплообмена в *прямоугольных* (рис. 2, 3) рассечённых каналах (частично заполнивший нишу не исследованных каналов в [10]) позволил установить неизвестный ранее факт реализации процесса рациональной интенсификации конвективного теплообмена (РИКТ) с высоким значением оценки процесса $(\mathfrak{R}'_{\zeta})_{\text{Re}'_x=4400}^{\text{MAX}} = 2.78$ при определяющем комплексе $(\mathfrak{K})_{\text{Re}'_x} = 1$ [12]. В результате глубина хода воздуха в рассечённых каналах теплообменной поверхности (ТП) сокращается в 2.78 раза,

а при коэффициенте гидравлического сопротивления $\zeta_{\text{гпр}}$, возросшем, как и критерий Нуссельта $Nu_{\text{гпр}}$, в 2.78 раза, обеспечивается прежний перепад давлений при движении воздуха в рассечённых каналах, как отмечалось, укоротившихся тоже в 2.78 раза [например, модели трансформации структурных схем единичных пакетов поверхностей теплообменного аппарата для случая $(\mathcal{R}')_{Re'_i} \cong 2$ и $(\mathcal{K}\zeta)_{Re'_x} = 1$ см. рис. 3, б, с]

Это доказывает возможность уменьшения объёма и массы сердцевин ТА с рассечёнными *прямоугольными* каналами, предельно до 2.78 раза по сравнению с их гладкоканальными аналогами при всех прочих равных условиях. Были предложены и графические зависимости, позволяющие не только определять, но и наблюдать интересное конструкторов ТА непрерывное изменение оценки $(\mathcal{R}')_{Re'_i} = (Nu / Nu_{\text{гл}})'_{Re'_i = \text{idem}}$ «*в*» текущих процессах РИКТ во всей области её реализации по числам Re'_i , упрощающие поиск рациональных решений и проектирование теплообменников [2].

Графический метод позволил установить и для исследованных в работе [5] *треугольных* рассечённых каналов неправомерность определения значения оценки $(\mathcal{R}'_{\zeta})_{Re'_x=1250}^{\text{MAX}} = 1.46$ без реализации процесса РИКТ, что нарушает принцип верификации [4].



Рис. 2. Геометрические характеристики пластинчато-ребристых гладкоканальной — а и рассечённой — б теплообменных поверхностей [3]

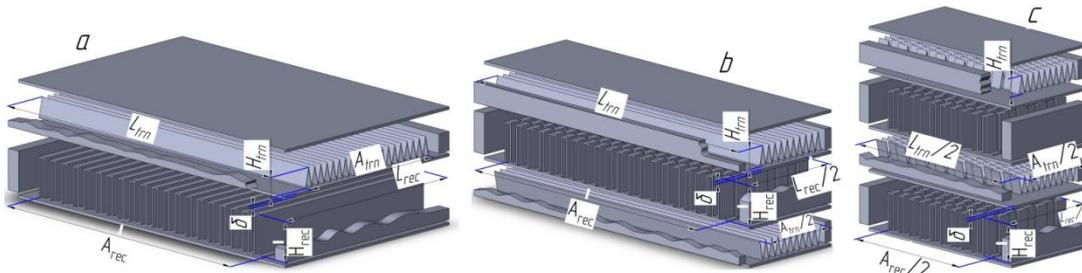


Рис. 3. Гипотетические модели трансформации структурных схем единичных пакетов поверхностей теплообменного аппарата — а после замены гладкоканальных поверхностей с прямоугольными — б и треугольными — с каналами аналогами с рассечёнными каналами с оценками РИКТ $[(\mathcal{R}')_{Re'_i}]_{rec,tm} \cong 2$ при значении определяющего комплекса $[(\mathcal{K}\zeta)_{Re'_x}]_{rec,tm} = 1$

По результатам выполненного экспериментального исследования [2] получены обобщающие аналитические тепловые характеристики для пластинчато-ребристых рассечённых (ПРрс) ТП:

$$Nu = 0,033 \cdot (1/d)^{-0,19} \cdot (\delta/d)^{-0,99} \cdot Re^{[0,25(1/d)^{0,043} + 0,72 \cdot (\delta/d)^{0,40}]},$$

$$Nu = 0,033 \cdot (1/d)^{-0,19} \cdot (d/\delta)^{0,99} \cdot Re^{[0,25(1/d)^{0,043} + 0,72 \cdot (d/\delta)^{-0,40}]}$$

Множество зон аппроксимации степенными функциями результатов аэродинамических испытаний не позволило получить удобные для использования в инженерной практике обобщающие аппроксимирующие зависимости, поэтому для расчёта коэффициента сопротивления рекомендуется использовать приведённые в [2, 12] выражения вида $\zeta = BRe^{\alpha}$.

В качестве выводов можно сказать следующее:

1. Сложность аналитических решений задач конвективного теплообмена в некруглых интенсифицированных каналах пока, по-прежнему, приводит к необходимости опираться исключительно на экспериментальные данные при конструировании и расчётах теплообменников.
2. Генерация вихрей во входных сечениях некруглых каналов за счёт обтекания плохообтекаемых прямоугольных лобовых профилей рёбер (стенок каналов) с острыми кромками позволяет в рассечённых насадках значительно интенсифицировать конвективный теплообмен при умеренном росте аэродинамического сопротивления. Однако большинство содержащихся в немногочисленных литературных источниках результатов исследований единичных образцов ТП с выбранными интуитивно, или продиктованными технологическими возможностями изготовления значениями геометрических параметров каналов малых размеров весьма затрудняет, или делает невозможным, проведение анализа влияния параметров, обуславливающих процесс вихреобразования — δ/d и длину диссипации вихрей — l/d на теплоаэродинамическую эффективность ПРрс ТП.

3. Результаты выполненного анализа позволили при планировании систематических экспериментальных исследований теплоаэродинамической эффективности ПРрс и ТПвк ТП с прямоугольными каналами принять обоснованные диапазоны изменения значений определяющих процесс РИКТ безразмерных геометрических параметров их каналов.

Специальный штамповый инструмент обеспечил в процессе изготовления всех групп опытных ПРрс и ТПвк ТП чёткое соблюдение постоянства прямоугольной формы поперечных сечений и заданных значений геометрических параметров каналов.

4. Рациональная интенсификация конвективного теплообмена является энергосберегающей, поскольку обеспечивает при неизменных энергетических затратах получить сердцевину пластинчато-ребристого теплообменного аппарата с уменьшенными в 2.78 раза длиной каналов, поверхностью теплообмена и массой.

5. Продолжение исследований закономерностей развития процессов РИКТ в каналах других форм сечений обеспечит выбор наиболее рациональных для практики диапазонов изменения значений параметров каналов поверхностей теплообмена при проектировании эффективных пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов различного назначения.

6. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании ТА с использованием установленных диапазонов изменения значений режимного и основных безразмерных геометрических параметров каналов исследованного типа, определяющих реализацию процесса РИКТ.

Литература:

1. Васильев В.Я., Котова С.А. Расчётно-теоретическое исследование условий реализации процесса рациональной интенсификации конвективного теплообмена в некруглых каналах пластинчато-ребристых теплообменных поверхностей / Материалы II международной научно-практической Конференции «Фундаментальная наука и технологии — перспективные разработки» в 3-х томах; 28-29 ноября 2013 г. Москва. Том 2. С. 91–102.
2. Васильев В.Я. Рациональная интенсификация конвективного теплообмена рассеением длинных гладких каналов / Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17. № 3. С. 143–152.
3. Васильев В.Я., Жаткин А.М. Эффективная интенсификация конвективного теплообмена в каналах. Актуальные вопросы технических наук в современных условиях / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Санкт-Петербург, 2015. С. 92–103.
4. Винокурова С.Г., Васильев В.Я. Верификация вывода о рациональной интенсификации конвективного теплообмена и её оценке в рассечённых треугольных каналах. Труды XIX Школы-семинара «Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках» молодых учёных и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева (20–24 мая 2013 г., Орехово-Зуево). М.: Издательский дом МЭИ. 2013. С. 315–316.
5. Воронин Г.И., Дубровский Е.В. Эффективные теплообменники. М.: Машиностроение, 1973. 96 с.
6. Дрейцер Г.А. Эффективность использования закрутки потока для интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах / Теплоэнергетика. 1997. № 11. С. 61–65.
7. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. и др. Закономерности изменения теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потока при вынужденной конвекции: Открытие № 242 СССР // Бюллетень изобретений. 1981. № 35.
8. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990. 208 с.
9. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998. 408 с.
10. Кэйс В.М., Лондон А.Л. Компактные теплообменники. М.: Энергия, 1967. 224 с.
11. Михайлов А.И., Борисов В.В., Калинин Э.К. Газотрубные установки замкнутого цикла. М.: Изд. АН СССР, 1962. 146 с.
12. Vasilyev V., Vinokurova S., Kotova S. Control in scale of generated vortexes at an input in not round interrupted ducts with the purpose of realization of a rational enhancement of convective heat exchanger. / Proceedings of the International Symposium on Convective Heat and Mass Transfer, Kuşadası, Turkey, 2014. 14 p. Begell House, Inc. Redding, CT 06896, USA.

Анализ схем, реализуемых системой OrCAD

Калустьянц Жанна Суменовна, канд. филос. наук, доцент
Хасигов Марат Асланович, студент
СК ГМИ(ГТУ), г. Владикавказ

Статья посвящена вопросам решения задач моделирования с использованием системы автоматизированного проектирования OrCAD Capture. В исследовании представлены некоторые виды анализа, собранные редактором Capture, модулем PSPICE, а, в частности, анализ переходных процессов при воздействии сигналов различной формы

Ключевые слова: источник напряжения, автоматизированное проектирование, электронная схема, стабилизированный регулятор, моделирование

Для решения задач моделирования воспользуемся системой автоматизированного проектирования OrCAD Capture. Это мощный схемотехнический редактор, имеющий широкие возможности анализа электронных схем.

Модуль PSPICE реализует 10 видов анализа аналоговых, цифровых и аналогово-цифровых электронных схем. По данным, собранным редактором Capture, модулем PSPICE реализуются следующие виды анализа:

1. Анализ схем по постоянному току. Этот тип анализа называется Bias point (смещение точки). Для этого типа анализа редактором Capture создается профиль с именем SCHEMATIC1-bias.

2. Анализ схем по постоянному току при изменении свойств источников тока, источников напряжения или температуры окружающей среды. Этот тип анализа называется DC Sweep (развертка по постоянному току). Для этого типа анализа редактором Capture создается профиль с именем SCHEMATIC1-DC Sweep.

3. Анализ переходных процессов при воздействии сигналов различной формы. Этот тип анализа называется Transient Analysis (анализ переходного процесса). Для этого типа анализа редактором Capture создается профиль с именем SCHEMATIC1-Transient.

4. Анализ характеристик электронных схем частотной области при воздействии одного или нескольких сигналов. Этот тип анализа называется AC Current (развертка по переменному току). Для этого типа анализа редактором Capture создается профиль с именем SCHEMATIC1-AC Sweep.

5. Анализ чувствительности характеристик электронной схемы к изменению параметров компонентов в режиме по постоянному току. Этот тип анализа называется Sensitivity.

6. Получение малосигнальных передаточных функций в режиме по постоянному току. Этот тип анализа называется Transfer Function (передаточная функция).

7. Получение спектральной плотности внутреннего шума компонентов электронной схемы. Этот тип анализа называется Noise Analysis (анализ шумов).

8. Спектральный анализ. Этот тип анализа называется Fourier Analysis (анализ Фурье).

Литература:

1. Павлов В. Н., Ногин В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств : [Учебник для вузов. Рекомендовано МО РФ]. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. 320 с.
2. Хоровиц П. Искусство схемотехники / Пер. с англ. М.: Мир, 2003. 704 с.
3. Миллзоров О. В., Панков И. Г. Электроника: [Учебник для вузов. Допущено МО РФ] / М.: Высш. шк., 2006. 287 с.

9. Статические испытания по методу Монте-Карло и расчёт наихудшего случая. Этот тип называется Monte Carlo — Worst Case (Монте Карло или наихудший случай).

10. Многовариантный анализ электронной схемы при изменении температуры или других параметров. Этот тип анализа называется Temperature Parametric. Нам требуется провести анализ схемы по переменному току с заданными параметрами. Для проведения анализа схемы необходимо создать профиль моделирования.

Регулятор напряжения — это устройство, позволяющее изменять величину электрического напряжения на выходе при воздействии на органы управления, либо при поступлении управляющего сигнала. Регулятор напряжения может быть, как нестабилизированным, так и стабилизированным. Стабилизированный регулятор напряжения, кроме регулятора напряжения, содержит в себе ещё и стабилизатор напряжения. Используется как в составе электронной аппаратуры, так и в виде отдельного изделия.

Виды регуляторов напряжений:

1. По количеству узлов в одном корпусе: только регулятор напряжения; регулятор напряжения вместе с выпрямителем электрического тока; комбинированный регулятор для напряжения переменного тока и напряжения постоянного тока с выпрямителем;

2. По номинальному напряжению в сети транспортного средства и изменению напряжения; номинальное напряжение 6 или 12 В; напряжение переменного тока или напряжение постоянного тока;

3. По электрической мощности (нагрузке) регулятора;

4. По числу фаз на 1-фазные и 3-фазные;

5. По типу регулируемого генератора постоянного тока — для генераторов с независимым возбуждением и генераторов с постоянными магнитами.

Очистка водных растворов от тяжелых металлов модифицированным сорбентом

Курилина Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент

Курилина Светлана Андреевна, инженер кафедры «СМиТС»

Ермилов Федор Евгеньевич, магистрант

СФУ ИСИ (г. Красноярск)

Исследованы закономерности кинетики сорбции ионов Cu^{2+} , Ni^{2+} и Zn^{2+} с использованием сорбента Akdolit Kesselburger Pelm Gran CM3 (Akdolit-Gran). На основании полученных результатов установлено, что сорбция происходит не на всей поверхности адсорбента, а на активных центрах, которыми являются выступы или впадины на поверхности адсорбента.

Ключевые слова: сорбция, ионы тяжелых металлов, сточные воды гальванических производств.

Одним из источников загрязнения окружающей среды вредными веществами и в первую очередь тяжелыми металлами, являются гальванические производства [1,2].

Сорбционный метод очистки сточных вод с использованием природных сорбентов известен давно, однако, существует большой класс природных сорбентов — минералов, которые из-за недостаточной изученности не нашли широкого применения [3,4]. Между тем, высокие сорбционные свойства, дешевизна, распространенность в

природе делают их экономически целесообразным сырьем в технологиях очистки производственных сточных вод, поэтому поиск эффективных и экономически выгодных природных сорбентов для аналитических целей является актуальной проблемой [5, 6]. Зачастую природные сорбенты не обладают нужными сорбционными свойствами и их необходимо термически модифицировать, в результате чего получают сорбенты с отличной от исходного минерала

природной поверхности и сочетающие в себе полезные свойства исходного материала и синтетических сорбентов.

Цель работы

Цель работы определяется необходимостью разработки и внедрения современной технологической схем утилизации сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, с использованием сорбента Akdolit Kesselburger Pelm Gran CM3 (Akdolit-Gran). При проведении эксперимента ставилась задача изучить состав, физико-химические и сорбционные свойства предлагаемого современного сорбента, получить данные по его структурным характеристикам, фазовому и химическому составу.

Материалы и методы исследования

Минералогический состав сорбента был определен на основе данных рентгеноструктурного анализа, выполненного на дифрактометре ДРОН-3, и на дифрактометре D8 ADVANCE в $\text{Cu-K}\alpha$ излучении. При разных температурах. Для более детального изучения образца сорбента был проведен термический анализ на приборе STA 449 F1 (синхронный термический анализатор), фирмы NETZSCH (Германия) в среде инертного газа аргона.

Определение физико-химических и сорбционных свойств сорбента Akdolit-Gran было основным этапом в изучении закономерности сорбции, т.к. на основании полученных результатов можно сделать вывод о целесообразности исполь-

зования данного сорбента для очистки сточных вод гальванического производства. Определение основных свойств сорбента проводили по стандартным методикам.

Остаточную концентрацию ионов тяжелых металлов определяли на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой ICAP-6500.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве сорбента для очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов предлагается использовать Akdolit Kesselburger Pelm Gran CM3 (Akdolit-Gran). Данный сорбент, в основе которого доломитовое сырье, производится в Германии и широко используется на Западе и Европейской части РФ. Природный доломит характеризуется, как правило, значительной емкостью, химической стойкостью, избирательностью, ионообменными свойствами, невысокой стоимостью и доступностью сырья [7].

Из литературных источников известно, что сорбционные свойства доломита зависят от предварительной обработки минерала [8]. Термическая обработка способствует улучшению свойств карбонатных пород, что связано с процессами, происходящими в поверхности образцов при термическом воздействии. Прокаливание карбонатов способствует разрыхлению породы с образованием структур с большей пористостью и удельной поверхностью.

Минералогический состав сорбента был определен на основе данных рентгеноструктурного анализа (рис. 1).

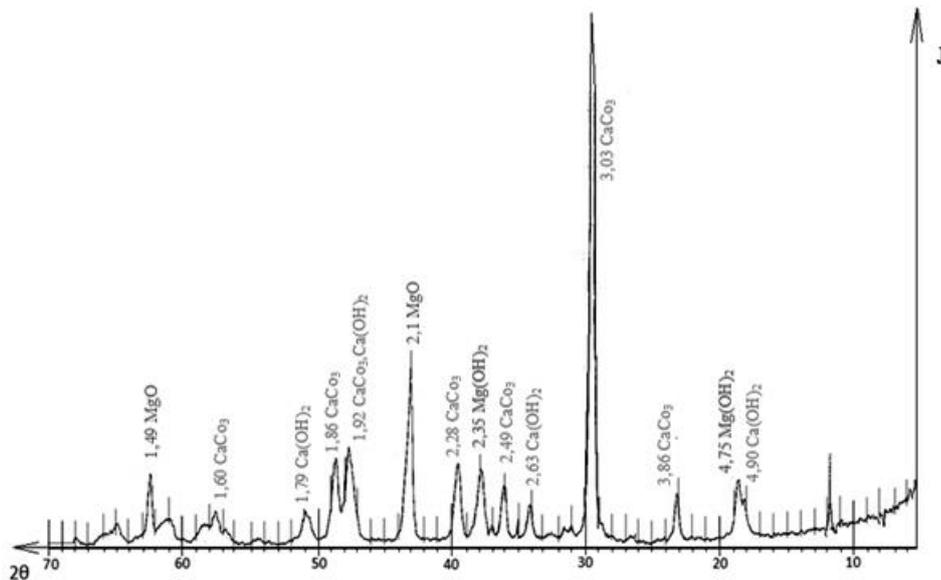


Рис. 1. Дифрактограмма сорбента Akdolit-Gran

Для оценки сорбционной активности и установления механизма сорбции важно определить наличие функциональных групп на поверхности сорбентов, которые определяют образование активных центров для адсорбции. Такие данные получают, изучая и анализируя полученные ИК-спектры.

Анализ дифрактограммы свидетельствует о том, что основной фазой в сорбенте Akdolit-Gran является кальцит CaCO_3 ($d = 0,38, 0,30, 0,23, 0,19, \text{ и } 0,018 \text{ \AA}$, экстрем, в нм), кроме этого, наблюдается довольно значительное количество оксида магния MgO ($d = 0,21, 0,15 \text{ \AA}$), дифракционные максимумы с малой интенсивностью соответствуют гидроксиду магния Mg(OH)_2 ($d = 0,21; 0,15 \text{ \AA}$) и гидроксиду кальция Ca(OH)_2 ($d = 0,49; 0,26 \text{ \AA}$), которые образовались в результате

гидролиза оксидов магния и кальция. Остальные вещества, указанные в технической документации по сорбенту ($\text{MgCO}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{ и } \text{SiO}_2$) не выявлены вследствие их небольшой концентрации.

Отношение полос поверхностных групп исследуемого сорбента Akdolit-Gran производилось путем сравнения их со спектрами соответствующих соединений.

Дополнительные исследования исходного образца Akdolit-Gran при разных температурах (рис. 2,3,4) также подтвердили наличие кальцита CaCO_3 , оксида и гидроксида магния MgO и Mg(OH)_2 , небольшое количество кремния SiO_2 ($d = 3,32993 \text{ \AA}$) и доломита $\text{MgCa(CO}_3)_2$ ($d = 2,87585, 2,18635 \text{ \AA}$)

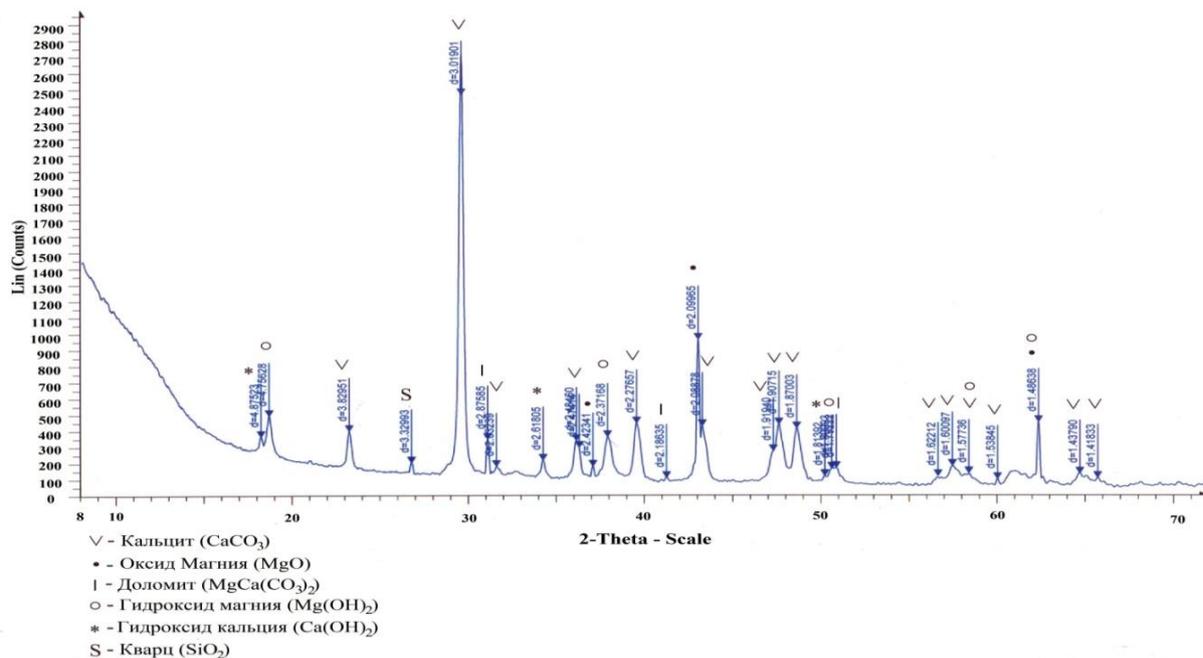


Рис. 2. Дифрактограмма исходного сорбента Akdolit-Gran

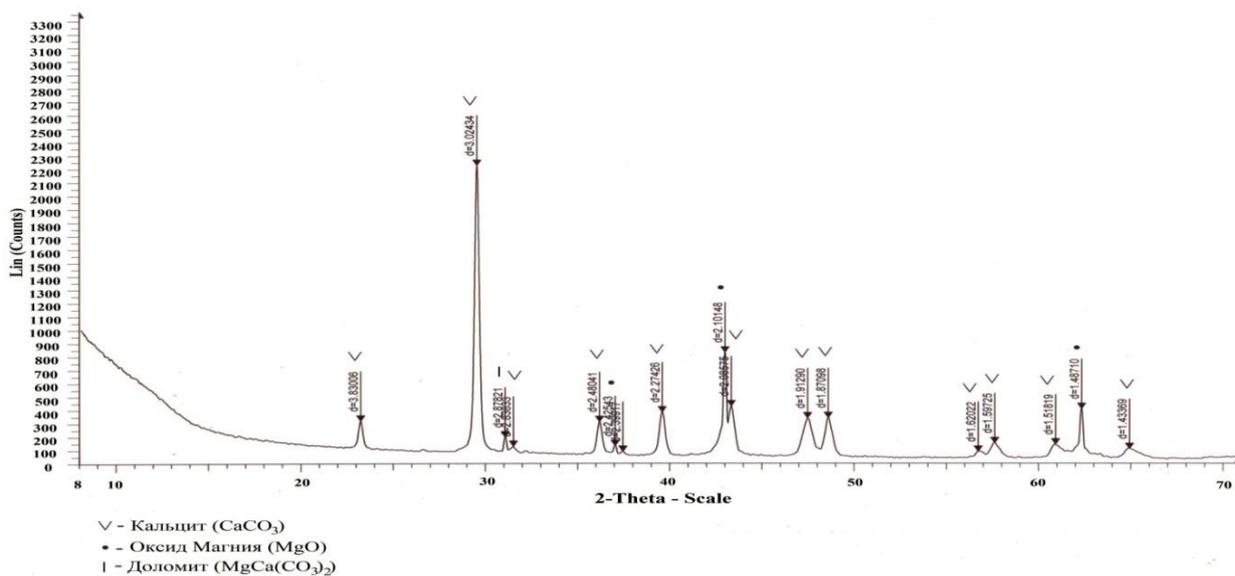


Рис. 3. Дифрактограмма сорбента Akdolit-Gran прокаленного при 700 °C

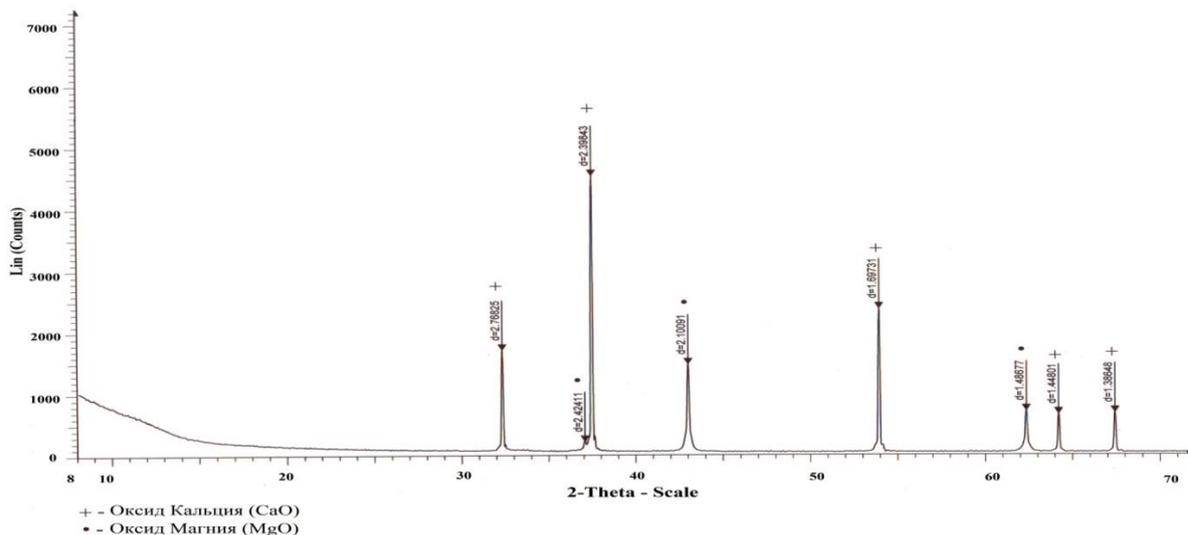


Рис. 4. Дифрактограмма сорбента Akdolit-Gran прокаленного при 900 °C

Определение основных свойств сорбента проводили по стандартным методикам. В результате были получены следующие характеристики (табл. 1).

Таблица 1. Технические характеристики сорбента

Суммарный объем пор, V_{Σ} (см ³ /г)	0,103
Насыпная плотность, ρ_n (г/см ³)	1,15
Истинная плотность ρ (г/см ³)	2,37
Средняя плотность ρ_0 (г/см ³)	2,26
Пористость П (%)	4,64
Водопоглощение W (%)	10,3

Для проведения процесса сорбции в лабораторных условиях был использован метод переменных навесок сорбента и постоянных объемов модельного раствора жидкости начальной концентрации $\text{Cu}^{2+}=60\text{мг/дм}^3$, $\text{Ni}^{2+}=15\text{мг/дм}^3$, $\text{Zn}^{2+}=20\text{мг/дм}^3$. Очистка воды осуществлялась при контакте воды и порошкообразного сорбента с перемешиванием [9,10]. Активность сорбента оценивали по величине сорбции, коэффициенту распределения металла между раствором и сорбентом, степени извлечения металлов из раствора, а также константы скорости в зависимости от дозы сорбента. Все результаты расчетов приведены в таблицах (2–5).

Таблица 2. Сорбционная емкость поглощения Akdolit – Gran (мг/г)

N п/п	Доза Akdolit – Gran, г/дм ³	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Zn^{2+}
1	1	57,74	13,01	19,87
2	1,2	48,16	11,71	16,37
3	1,4	41,28	10,27	14,14
4	1,6	36,76	8,63	12,35
5	1,8	32,26	7,26	10,54
6	2,0	28,15	6,37	9,19

Таблица 3. Коэффициент распределения металла между раствором и сорбентом (г/дм³)

N п/п	Доза Akdolit – Gran, г/дм ³	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Zn^{2+}
1	1	25,59	6,55	155,23
2	1,2	21,81	12,48	45,98
3	1,4	18,68	16,48	67,98
4	1,6	31,20	7,29	52,55
5	1,8	16,69	3,77	10,28
6	2,0	7,61	2,83	5,64

Таблица 4. Степень извлечения металлов из растворов (%)

N п/п	Доза Akdolit – Gran, г/дм ³	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Zn^{2+}
1	1	96,24	86,76	99,36
2	1,2	96,32	93,75	98,22
3	1,4	96,32	95,85	98,96
4	1,6	98,03	92,11	98,92
5	1,8	96,78	87,16	94,87
6	2,0	93,83	84,94	91,86

Таблица 5. Результаты расчета константы скорости в зависимости от дозы сорбента

Дозы мг/дм ³	K, сек ⁻¹		
	Cu(II)	Ni(II)	Zn(II)
1	3,28	2,02	5,05
1,2	3,3	2,77	4,02
1,4	3,3	3,18	4,56
1,6	3,9	2,54	4,44
1,8	3,4	2,05	2,97
2,0	2,78	1,89	2,51

Сорбционная способность Akdolit – Gran различается (табл. 2). Оценка эффективности сорбента для извлечения металлов из водных растворов с помощью удельной сорбционной емкости может привести к ошибочным выводам. Так, оценка эффективности иммобилизации тяжелых металлов с помощью значений сорбционной емкости дает следующий ряд сорбции: $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$, а с помощью коэффициента распределения металла, степени извлечения металлов и константы скорости видим следующую последовательность: $\text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$. Это связано с тем, что параметр сорбционной емкости зависит от массы взятого образца. Ионный

потенциал, т.е. поверхностный заряд иона можно использовать для оценки степени «поверхностной диссоциации» и поэтому признаку исследованные металлы располагаются в ряд: $\text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$, что соответствует экспериментально полученным данным (табл. 3–5).

Термодинамика сорбционного процесса позволяет также предсказать влияние температуры на интенсивность иммобилизации ионов тяжелых металлов из водной среды.

Известно, что сорбция процесс экзотермический, следовательно, с увеличением температуры емкость сорбента по отношению к металлам уменьшается [11], что и подтверждается результатами табл. 6 и 7.

Таблица 6. Зависимость сорбционной емкости от температуры раствора

№ п/п	Температура $^{\circ}\text{C}$	Cu(II)	Ni(II)	Zn(II)
1	11,5	41,78	10,22	14,06
2	17,0	42,75	10,59	14,28
3	25,0	42,76	10,63	14,26
4	33,0	42,76	10,67	14,28
5	38,5	42,77	10,70	14,27
6	60,0	42,76	10,62	14,22
7	70,5	42,71	10,61	14,20
8	80,0	42,71	10,57	14,14

Таблица 7. Результаты расчета константы скорости

Температура $^{\circ}\text{C}$	K, сек ⁻¹		
	Cu(II)	Ni(II)	Zn(II)
11,5	3,3	3,08	4,17
17,0	5,98	4,53	7,2
25,0	6,15	4,9	6,47
33,0	6,13	5,59	7,34
38,5	6,21	7,05	7,5
60,0	6,09	4,76	5,51
70,5	5,67	4,63	5,22
80,0	5,65	4,31	4,62

Явления физической и химической сорбции четко различаются в редких случаях. Обычно осуществляются промежуточные варианты, когда основная масса адсорбированного вещества связывается сравнительно слабо и лишь небольшая часть — прочно [12]. При повышении температуры

увеличение химической адсорбции с некоторой температуры начинает перекрывать падение физической сорбции, поэтому температурная зависимость сорбции в этом случае имеет четкий минимум (табл. 8).

Таблица 8. Результаты расчета зависимости остаточной концентрации от температуры водной среды

Температура $^{\circ}\text{C}$	$C_{\text{ост}}$		
	Cu(II)	Ni(II)	Zn(II)
11,5	2,201	0,689	0,308
17,0	0,151	0,161	0,005
25,0	0,128	0,112	0,031
33,0	0,131	0,056	0,0053
38,5	0,121	0,013	0,0101
60,0	0,136	0,128	0,0805
70,5	0,207	0,146	0,108
80,0	0,210	0,202	0,196

Заключение

В результате проведенных исследований, впервые показана возможность применения сорбента Akdolit-Gran для обезвреживания сточных вод, содержащих ионы различных металлов. При этом сорбция происходит не на всей поверхности адсорбента, а на активных центрах, которыми являются выступы или впадины на поверхности адсорбента, ха-

рактеризующиеся наличием так называемых свободных валентностей. Активные центры считаются независимыми (то есть один активный центр не влияет на адсорбционную способность других), а каждый активный центр способен взаимодействовать только с одной молекулой адсорбата, в результате чего может образовываться только один слой адсорбированных молекул — монослой.

Литература:

1. Бек Р.Ю. Воздействие гальванических производств на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба: Аналитический обзор/АН СССР. Сиб. отд-ние Ин-т химии твердого тела и переработки минерального сырья; ГПНТБ. Новосибирск, 1991 — 96 с.
2. Авакян А.Б. Рациональное использование водных ресурсов/ А.Б. Авакян, В.М. Широков. — Екатеринбург: «Виктор», 1994. — 320 с.
3. Кроик А.А., Шрамко О.Н., Белоус Н.В. Очистка сточных вод с применением природных сорбентов // Химия и технология воды. — 1999. — 21, № 3. — С. 310.
4. Наумова Л.Б., Чащина О. В., Горленка Н. П. Сорбция ионов меди и кадмия природными сорбентами. Журнал физической химии. 1994, том 68 №4, с.688-691.

5. Годымчук А.Ю., Решеткова А.А. Исследование процессов извлечения тяжелых металлов на природных материалах. Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН» №1(21)2003.
6. Бутаев А.М., Магомедбеков У.Г., Мухучев А.А., Магомедрасулова Х.М. Имобилизация тяжелых металлов из водных растворов карбонатными породами Дагестана. Вестник Дагестанского научного центра. 2007, №29. с. 59-68.
7. Казанцева Н.М., Ильина Л.Д., Золотова Т.П., Никифоров А.Ю., Использование доломита в очистке сточных вод. // Химия и технология воды. 1996-18, №5, с.555.
8. Никифоров А.Ю., Ильина Л.А., Сударушкин А.Т. Использование природного минерала доломита и его термомодифицированных форм для очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов. // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1999. — 42, №4. — с.138
9. Машкова Л.П., Логинова Е.Я., Богдановский Г.А. Использование глины и карбонатных пород при очистке сточных вод в различных условиях эксперимента // Вестник МГУ. Сер.2 — 1994 — 35, №4, с.346
10. Cheung W.H., Ng J.C.Y., McKay G. Kinetic analysis of the sorption of copper (II) ions on chitosan//J.Chem. Technol. Biotechnol.
11. Бондарева Л.П., Перегудов Ю.С., Овсянникова Д.В., Астапов А.В. Тепловые эффекты сорбции на ионообменных материалах (обзор). ГОУ ВПО Воронежская государственная технологическая академия <http://www.chem.vsu.ru> г. Воронеж 2009, 477-498 с.
12. Левченко С.И. Физическая и коллоидная химия. Конспект лекций для студентов биофака ЮФУ <http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/> г. Ростов на дону, 2004, 77 с.

Оценивание угловой скорости поворотной установки с помощью оптического датчика

Николаев Максим Евгеньевич, студент
Пашнин Сергей Владимирович, старший преподаватель
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

Аннотация. В статье представлена методика оценки угловой скорости кресла пациента в поворотной установке, с помощью оптического датчика приращений. Выполнен расчет погрешности вычисленного значения угловой скорости в зависимости от геометрических характеристик оптического датчика.

Ключевые слова: поворотная установка, лечение вестибулярного аппарата, погрешность оптического датчика.

Разрабатываемая поворотная установка предназначена для проведения лечебных процедур пациентам с расстройствами работы вестибулярного аппарата. Так как процесс лечения заключается в поворотах пациента, осуществляемых вручную, то возникает задача контроля его угловой скорости.

В качестве источника информации об угловой скорости использован оптический датчик в виде относительного энкодера, имеющего неограниченный угол поворота. В качестве прерывателя энкодера используется колесо. Чертеж колеса энкодера с геометрическими параметрами представлен на рисунке 1.

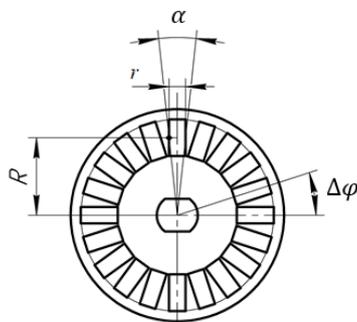


Рис. 1. Чертеж колеса энкодера с геометрическими параметрами

Оценка угловой скорости при помощи относительного энкодера происходит по схеме представленной на рисунке 2, на котором введены обозначения: $\Delta\varphi$ — угловое расстояние

между пазами, α — угловой размер паза, t_n — чередование пазов колеса во временной шкале, при изменении угловой скорости, $t_{\text{паз}}$ — время прохождения паза.

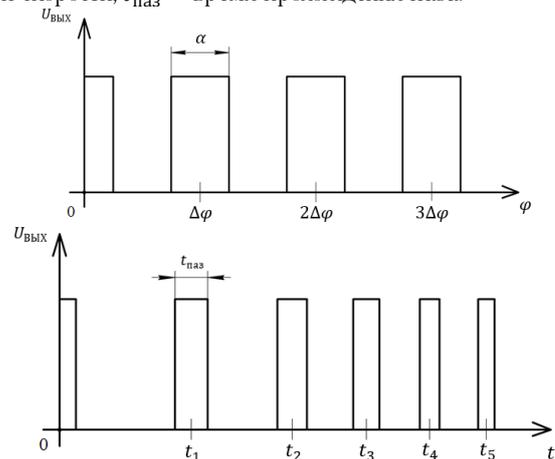


Рис.2. Оценка угловой скорости при помощи относительного энкодера

Значение угловой скорости, в определенный момент времени, можно вычислить из выражений:

$$\omega_{12} = \frac{\Delta\varphi}{t_2 - t_1}; \quad \omega_{23} = \frac{\Delta\varphi}{t_3 - t_2}.$$

Исходя из рисунка 1, в стандартном изделии колеса энкодера имеются пазы шириной g . Угловой размер паза α определяется выражением:

$$\alpha = 2 \arctg \frac{r}{2R},$$

где: R – расстояние от центра, до места расположения оптопары.

Минимальное время прохождения паза относительно оптопары, при вращении колеса, оценивается следующим выражением:

$$t_{min} = \frac{\alpha}{\omega_{max}}$$

где: ω_{max} – максимальная угловая скорость вращения колеса.

Для обеспечения работы оптопары должно выполняться условие:

$$t_{min} > t_{\Pi},$$

где: t_{Π} – время срабатывания оптопары.

В момент прохождения паза относительно оптопары происходит открытие транзистора. В идеальном случае его сигнал, согласно [2], имеет вид, представленный на рисунке 3.

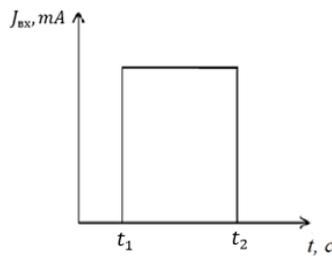


Рис. 3. Идеальный сигнал оптопары

Согласно техническим характеристикам у оптопар, имеется некоторое время нарастания и время убывания сигнала. Схема выходного сигнала энкодера представлена на рисунке 4 из [2], на котором введены обозначения: $J_{вых}$ – сигнал на выходе транзистора оптопары, $J_{вых max}$ – максимально возможно значение на входе транзистора оптопары, $t_{н}$ – время нарастания сигнала, $t_{у}$ – время убывания сигнала, $t_{min} = t_1 - t_2$ – минимальное время прохождения паза.

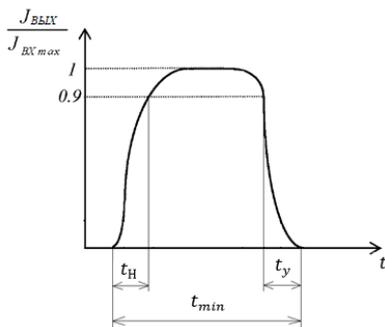


Рис. 4. Схема выходного сигнала энкодера

Погрешность угловой скорости от задержки срабатывания оптопары $\Delta\omega_1$, при максимальной скорости вращения, оценивается по формуле:

$$\Delta\omega_1 = \frac{\omega_{max} \cdot t_c}{t_0},$$

где: ω_{max} – максимальная угловая скорость, t_c – сумма времени прохождения нарастаний и убываний сигнала, t_0 – время при максимальной скорости вращения.

Паза колеса обычно изготавливают с помощью лазерного станка, средняя точность позиционирования которого составляет 0.01 мм. Наличие погрешности изготовления Δ приводит к погрешности угловой скорости $\Delta\omega_2$. Чертеж колеса энкодера с погрешностью изготовления представлен на рисунке 4.

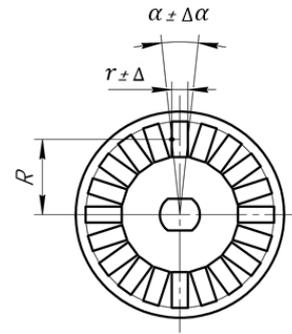


Рис. 4. Чертеж колеса энкодера с погрешностью изготовления

Выражение для расчета погрешности изготовления колеса энкодера представлено ниже:

$$\Delta\omega_2 = \Delta\alpha \cdot \varphi_{max} \cdot k,$$

где: $\Delta\alpha = \frac{\Delta \cdot r}{R}$ – погрешность углового размера паза, Δ – погрешность ширины паза, φ_{max} – угол, проходимый при максимальной скорости за одну секунду, k – количество проходящих отверстий при максимальной скорости вращения за одну секунду.

Ниже приведены требования к энкодеру для поворотной установки:

- максимальная угловая скорость поворота ротора 45°/с;
- погрешность измерения угловой скорости не более ±5°/с;
- диапазон рабочих углов от -180° до +180°.

По приведенным выше выражениям выполнены расчеты погрешностей для измерения угловой скорости кресла пациента. Погрешность от колеса для энкодера составила 0,236°/с, погрешность от срабатывания оптопары 0,0034°/с. Полученные погрешности удовлетворяют условиям, так как суммарная погрешность ±0.2394°/с по модулю меньше максимально допустимой: ±0.2394°/с < ±5°/с.

На основании сформированных требований к энкодеру наиболее подходящим является оптический датчик FC-03, имеющий низкую стоимость. На основе оптического элемента сформирован датчик приращений. Чувствительным элементом датчика является оптическая пара ITR9608, внешний вид которой представлен на рис.5.

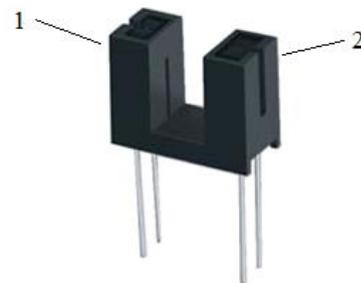


Рис. 5. Оптическая пара ITR9608

В одном выступе корпуса оптической пары расположен инфракрасный (ИК) светодиод 1, направленный на фототранзистор 2, находящийся в противоположном выступе корпуса. Если в щель между выступами внести непрозрачную пластину, то ИК излучение от светодиода перекрывается и фототранзистор закрывается [3].

Учёт данных погрешностей измерения угловой скорости позволит определить возможность использования оптического датчика в поворотных установках, требующих контроля угловой скорости.

Литература:

1. Оптические датчики. URL: <https://rusautomation.ru/promavtomatika/opticheskie-datchiki>.
2. Оптические элементы автоматизированных систем управления технологиями дифракционной оптики: метод, указания к лаб. работе / сост. В.А. Колпаков. Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2008. 28 с.
3. Датчик скорости вращения FC-03. URL: <https://arduino-kit.ru/catalog/id/datchik-skorosti-vrascheniya>
4. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 608 с.
5. Кирилловский В.К. Современные оптические исследования и измерения: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 304 с.

Калибровка магнитовариационных станций

Гарбацевич Владимир Алексеевич, кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник;

Петров Валерий Григорьевич, кандидат физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН)

Разработана и реализована простая система калибровки датчиков магнитного поля в условиях магнитной обсерватории с использованием традиционных систем типа колец Гельмгольца, позволяющая выполнять её с точностью до 0.01%. Система не требует использования дорогостоящих высокостабильных программируемых источников тока и систем компенсации внешних вариаций магнитного поля Земли. Представлены результаты калибровки цифровых магнито-вариационных станций и возможности расширения их динамического диапазона.

Ключевые слова: магнитометры, калибровка.

Основным метрологическим параметром современного датчика магнитного поля является коэффициент преобразования аналогового сигнала датчика магнитного поля или цифрового кода АЦП в величину магнитного поля. При длительной эксплуатации магнитометра метрологические параметры могут меняться, что связано в первую очередь со старением электронных элементов. Поэтому периодическая калибровка станции является важным элементом получения качественных магнитных данных. Применяемые в производстве и метрологических центрах специальные калибровочные системы со стабильными высокоточными источниками тока и активными системами компенсации внешних вариаций громоздки и дороги и во многих случаях недоступны для оперативной работы.

Стандартная процедура калибровки заключается в подаче в калибровочное кольцо (или систему из нескольких колец, например, кольца Гельмгольца или Браунберга [1]) заданного тока, вычисление на основе постоянной колец (коэффициента пересчета ток \rightarrow магнитное поле) задаваемого магнитного поля и сравнения с ним измеренного датчиком поля. При этом необходимо знать с высокой точностью характеристики самой калибровочной системы, устранить вариации внешнего магнитного поля, оценить возможные систематические ошибки и упростить процесс калибровки для её ускорения и уменьшения ошибки за счет большей статистики. Традиционная система калибровки требует высококачественных программируемых источников тока (ЦАП) и достаточно дорога. Предлагаемая система основана на использовании современных качественных аналого-цифровых преобразователей (АЦП), которые имеют большую разрядность, хорошую линейность и существенно дешевле. Система состоит из управляющего персонального компьютера (ПК), ЦАП, усилителя тока (УТ), калибровочной катушки и соединенного с ней последовательно высокостабильного эталонного сопротивления (ЭС). Схема одного канала такой системы изображена на рис 1.

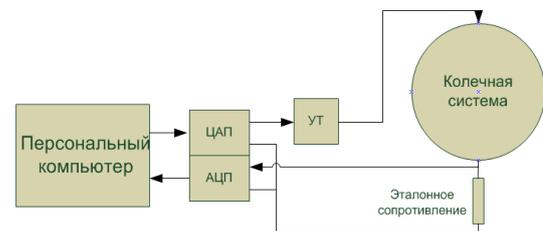


Рис. 1. Блок-схема одного измерительного канала системы калибровки магнитных датчиков.

Заданный ПК код через ЦАП и УТ поступает на калибровочную катушку, а напряжение на ЭС измеряется АЦП. Зная постоянную колец и сопротивление обмотки колец, можно оценить, какое напряжение нужно подать на кольца, чтобы получить заданное поле. Высокие требования к точности задания магнитного поля здесь не предъявляются. Измеряя падение напряжения на эталонном сопротивлении, мы можем измерить ток в кольцах и определить реально созданное поле. Точность измерения поля в таком случае получается существенно выше точности задания поля. Если установить ось катушки параллельно вектору земного магнитного поля и провести калибровку такой системы с помощью абсолютного эталонного магнитометра (протонного или квантового), можно определить коэффициент преобразования *измеренное АЦП напряжение \rightarrow магнитное поле*. Точность калибровки определяется качеством используемого прибора для измерения модуля магнитного поля. Реально можно получить точность до 0.01-0.001 %, даже не зная значения постоянной катушки и величины эталонного сопротивления. Описываемая система реализована на базе модуля АЦП/ЦАП Z220 (<https://zetlab.com/product-category/sistemy/moduli-atp-tsap/>), который имеет два 16-разрядных ЦАП и 8 дифференциальных 24-разрядных

АЦП. При использовании одноосной колечной системы, калибровка трёхкомпонентного магнитометра возможна путем установки одноосной калибровочной системы в три положения (ось системы направлена по X(H) Y(D) или Z) поочередно.

Программное обеспечение установки состоит из 2-х программ. Первая обеспечивает управление модулем АЦП/ЦАП, вторая обеспечивает интерфейс с пользователем. Обмен данным между программами осуществляется через общую память. Программа управления должна запускаться первой из командной строки. Вторая программа обеспечивает управление процессом калибровки. Интерфейс пользователя второй программы показан на рис. 2.

Выпадающее меню в верхней части экрана обеспечивает выбор режима работы по каждому каналу (выбор по третьему каналу с данным блоком АЦП/ЦАП не задействован, т.к. используемый ЦАП имеет только 2 канала). В настоящее время реализовано 5 режимов работы системы (рис. 3):

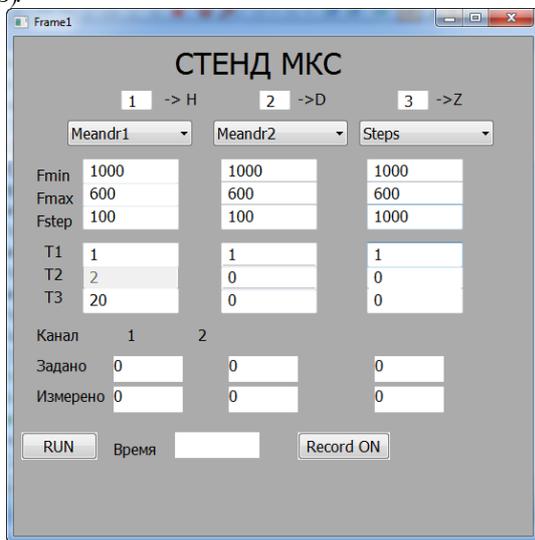


Рис. 2. Интерфейс пользователя системы калибровки магнитных датчиков.

1) постоянное поле – значение, введенное в поле Fmean создаётся в центре соответствующей катушки, значения остальных полей не используются.

2) Меандр 1 – поле переключается между значениями Fmean+Famp и Fmean- Famp с периодом T1

3) Меандр 2 – поле меняется от значения Fmean+Famp до Fmean- Famp и обратно с шагом Fstep через T1 секунд (см. рис 3, верхняя панель)

4) Ступенька – поле возрастает от значения FmeandоFmean+Famp, затем уменьшается до Fmean-Famp с шагом Fstep через T1 (средняя панель)

5) Синус – поле плавно меняется от Fmean+Famp до Fmean- Famp с периодом T1 (нижняя панель). В данном случае T1 – период синусоиды, а изменение текущих значений происходит с периодом 0.1 сек.

Циклы измерения могут продолжаться автоматически сколько угодно долго, что позволяет набрать любую статистику и за счёт этого повысить точность измерений. На магнитный датчик помимо поля, заданного колечной системой, всегда действует и внешнее магнитное поле, которое в процессе измерения изменяется. Для компенсации этих вариаций необходимо иметь дополнительный опорный датчик, даже не очень высокого качества, установленный вне зоны рассеяния поля самих колец.

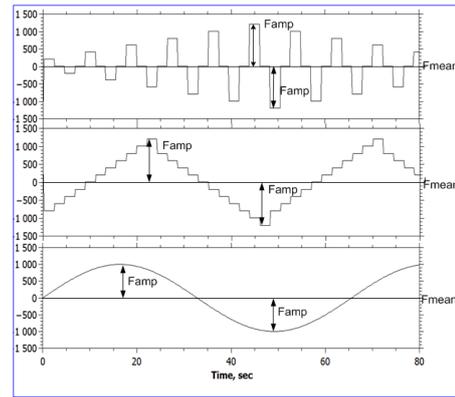


Рис. 3. Образцы эталонных сигналов системы калибровки датчиков.

Наиболее простой вариант учета вариаций внешнего поля – просто вычесть данные опорного датчика из измеренных данных калибруемого датчика. В условиях магнитной обсерватории, где поле вариаций достаточно однородно в пространстве, этот метод работает вполне удовлетворительно. Если опорной станции не имеется, влияние внешней вариации можно значительно уменьшить, проведя калибровку многократно и усреднив результаты. Программное обеспечение позволяет выполнить такую процедуру автоматически.

Магнитное поле, создаваемое системой, показанной на рис.1 вычисляется по формуле:

$$T = K_C * U_{ГЦ} / R_{ГЦ}(1)$$

где T – созданное магнитное поле, K_C – постоянная ко- лещ, нТ/мА, U_{ГЦ} – падение напряжения на эталонном сопро- тивлении в мВ, R_{ГЦ} – величина этого сопротивления в омах. Все эти величины измеряются с определёнными ошибками, поэтому точное значение коэффициента преобразования код АЦП – созданное магнитное поле производится с помо- щью аттестованного протонного или квантового магнито- метра. Для этого ось колечной системы устанавливается па- раллельно вектору магнитного поля Земли. Установка в плоскость геомагнитного меридиана производится по бус- соли, установка по наклону – по известному из абсолют- ных наблюдений или взятого из модели IGRF [3] (<http://www.izmiran.ru/magnetism/igrf>) углу наклона. В этом случае полное поле в центре катушки равно сумме внешнего земного поля и поля созданного катушкой.

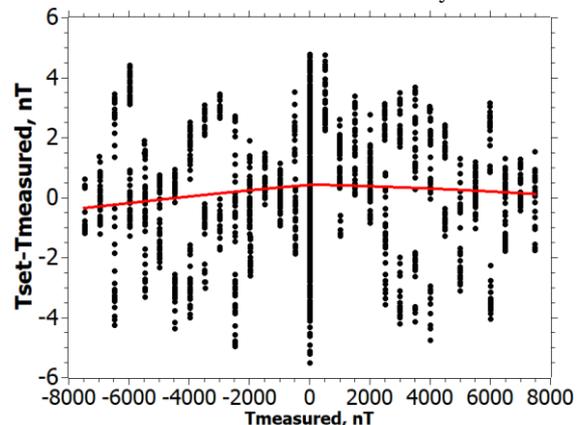


Рис. 4. Разность заданного и измеренного магнитного поля в зависимости от величины измеренного поля.

На рис. 4 по оси X показано поле, создаваемое колечной системой вычисленное по формуле (1), а по оси Y – разность заданного поля и измеренного протонным магнитометром в

центре катушки поля. Виден довольно значительный разброс данных, связанный с вариацией внешнего магнитного поля во время проведения измерений. На рис. 5 показан аналогичный график, но вариации внешнего магнитного поля удалены путём вычитания из данных протонного магнитометра внешней вариации, определённой по протонному магнитометру обсерватории Москва, расположенного вне зоны рассеяния магнитного поля кольцевой системы.

Если на рис. 4 разброс точек достигает ± 5 нТ, то на рис. 5 не превышает ± 0.4 нТ и связан, в основном, с шумом АЦП и возможной несинхронностью измерений, т.е. систематические вариации внешнего поля практически исключены. Таким способом определяется поправка к вычисленному по формуле 1 коэффициенту и вычисляется точное значение коэффициента преобразования, которое и используется при калибровке.

Видно, что система исключительно линейна и коэффициент преобразования определяется с высокой точностью. В данном случае он равен 24.3276 ± 0.0001 нТ/мВ. Увеличив время цикла калибровки эту точность можно повысить. Фактически коэффициент преобразования определяется как нТ/разряд АЦП, но для удобства мы отображаем его в пересчете на мВ, используя паспортную характеристику АЦП. Реальное значение коэффициента преобразования самого АЦП не имеет никакого влияния на точность калибровки.

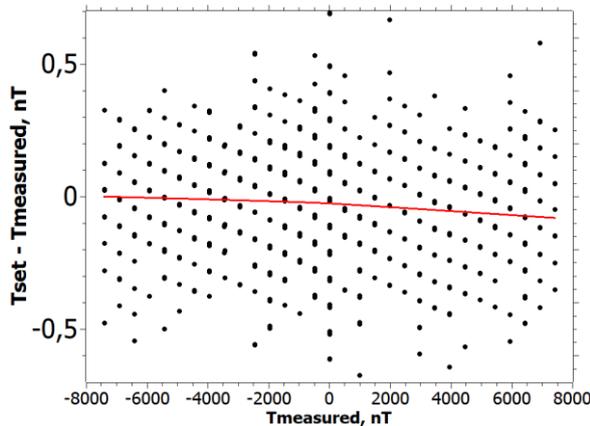


Рис. 5. Разность заданного и измеренного магнитного поля в зависимости от величины измеренного поля.

Для калибровки магнитометра его датчик устанавливается в центре кольцевой системы, ось кольцевой системы ориентируется по направлению калибруемой компоненты. Подавая через ЦАП напряжение на обмотку катушки и измеряя напряжение на эталонном сопротивлении, по формуле (1) можно вычислить создаваемое дополнительное поле. Одновременно самим калибруемым магнитометром (или отдельным вольтметром для аналогового магнитометра) измеряется выходное напряжение калибруемого канала. Далее построив график *выходное напряжение магнитометра - установленное магнитное поле* можно определить коэффициент преобразования полного измерительного тракта. На рис. 6 показан пример такого графика. Из рисунка видно, что канал практически линейен во всём диапазоне ± 8000 нТ.

Для более детальной проверки линейности был построен график разности измеренного и заданного поля как функция заданного поля (рис. 7). Из рисунка видно, что в диапазоне от -4000 до 4000 нТ разность заданного и измеренного полей не превышает 1 нТ, т.е. нелинейность канала не превышает 0.025%. На концах диапазона ошибка возрастает до 4 нТ.

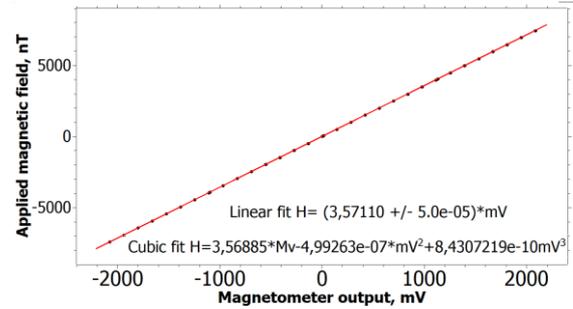


Рис. 6. Связь прилагаемого калибровочного поля и выходного напряжения магнитометра.

С целью проверки возможности расширения динамического диапазона канала, по данным рис. 6 была выполнена кубическая аппроксимация зависимости выходного сигнала магнитометра от заданного магнитного поля. Затем выходное напряжение магнитометра было преобразовано в значение магнитного поля с использованием этой аппроксимации. На рис. 8 приведены разности вычисленного и заданного поля в этом случае. Видно, что теперь во всём диапазоне от -7000 до 7000 нТ разность заданного и измеренного полей не превышает 1 нТ.

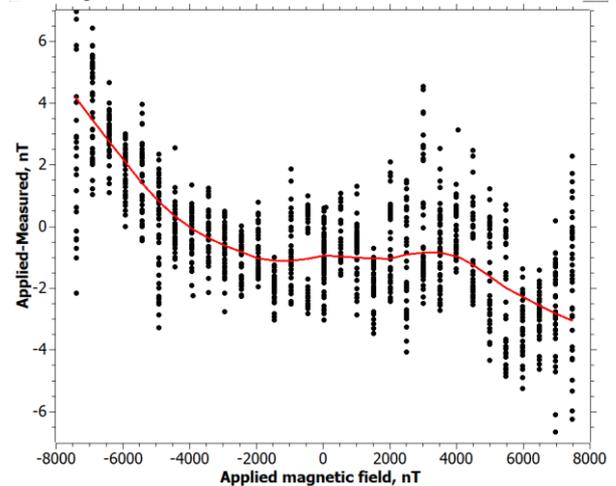


Рис. 7. Разность измеренного и заданного поля как функция заданного поля при линейной аппроксимации.

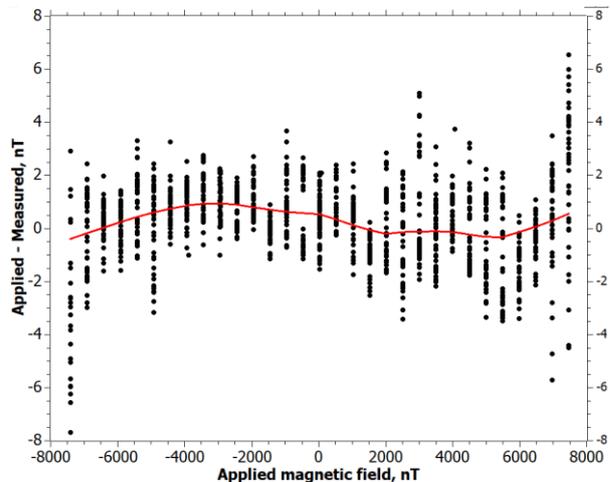


Рис. 8. Разность измеренного и заданного поля как функция заданного поля при кубической аппроксимации.

При проведении калибровки имеется несколько возможных источников ошибок:

1) Ошибка абсолютного магнитометра, используемого при калибровке. Используемый прибор ПОС-2 имеет паспортное значение погрешности измерения не более ± 0.5 нТ во всём рабочем диапазоне. Калибровка магнитометров производится в ограниченном диапазоне амплитуд, обычно не более ± 8000 нТ и используется не само абсолютное значение поля, а только отклонение полного поля от среднего значения, так что реальная ошибка будет существенно меньше. Абсолютный прибор прошёл очередную поверку в аккредитованном государственном центре.

2) Ошибка, связанная с непараллельностью оси колечной системы и вектора полного магнитного поля при калибровке самой колечной системы. Градуировка поворотных шкал используемой системы Браунберга позволяет установить угол с точностью $\pm 0.25^\circ$, что приводит к ошибке связанной с непараллельностью векторов не более 0.09 нТ при добавочном поле 8000 нТ.

3) Ошибка, связанная с непараллельностью измерительной оси датчика с осью системы в процессе калибровки. Измеряя расстояние с точностью до 1 мм, можно установить опорную площадку датчика с точностью до 0.25° , что даёт ошибку не более 0.001% .

Наиболее высокие требования к точности магнитных измерений предъявляются, вероятно, в магнитных

обсерваториях, проводящих регулярные магнитные наблюдения магнитного поля Земли. Общепринятым стандартом для таких обсерваторий являются требования международного проекта Intermagnet. Согласно этим требованиям [4,5] динамический диапазон магнитометра должен быть $\geq \pm 4000$ нТ для станций установленных в высоких широтах и $\geq \pm 3000$ нТ для низкоширотных станций и максимальная ошибка не должна превышать ± 5 нТ во всём диапазоне, т.е. нелинейность не должна превышать 0.12% . Из рис.7 видно, что испытываемый датчик с большим запасом удовлетворяет этим требованиям даже без использования кубической аппроксимации коэффициента преобразования.

Предлагаемая недорогая простая система калибровки измерителей магнитного поля даёт возможность производить определение коэффициента преобразования всего измерительного тракта магнитометра с погрешностью не более 0.01 процента, что достаточно для большинства практических приложений. Система позволяет легко определить параметры нелинейного преобразования при необходимости расширения динамического диапазона магнитометра.

Литература

1. Афанасьев Ю.В., Студенцов Н.В., Хорев В.Н., Чечурина Е.Н., Шелкин А.П. Средства измерений параметров магнитного поля. Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1979, 320 стр.
2. Баранов В.Е. ИЗМЕРЕНИЕ СЛАБОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ФЕРРОЗОНДОВОГО ДАТЧИКА. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Томск 2015, 134 с.
3. E. Thebaud, C. Finlay, et. al. International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation, Earth, Planets and Space 2015, 67:79 (27 May 2015)
4. INTERMAGNET. Technical Reference Manual, ver.4.6, http://www.intermagnet.org/publications/intermag_4-6.pdf, 2012, 92 p
5. INTERMAGNET Technical Note, http://www.intermagnet.org/publications/im_tn_06_v1_0.pdf, 2014, 7 p.

УДК 62-522.7.001.24

Совершенствование динамических характеристик пневматических исполнительных устройств

Прудников Сергей Николаевич, кандидат технических наук,
доцент кафедры "Вакуумная и компрессорная техника"

Новгородская Алла Викторовна, старший преподаватель кафедры "Физика"

Шадрин Владислав Сергеевич, аспирант кафедры "Вакуумная и компрессорная техника"
МГТУ им. Баумана

В работе рассмотрены различные способы совершенствования динамических характеристик пневматических исполнительных устройств. Показаны пути снижения величин гидродинамических моментов на валу регулирующих дроссельных заслонок в трубопроводах круглого и прямоугольного сечения за счет их профилирования. Рассмотрены способы регулирования движения пневмопривода для обеспечения необходимой скорости посадки клапана на седло

Ключевые слова: пневматический привод, исполнительный механизм, регулирующая дроссельная заслонка, клапан.

Improvement of dynamic characteristics of pneumatic actuators

Prudnikov S. N., Novgorodskaiy A. V., Shadrin V. S.

In this paper, we consider the influence of centrifugal force, pressing the plate to the cylinder of the rotary machine and the friction forces arising in the grooves of the rotor. It is shown that the friction power in both cases can be reduced by external opposing forces.

Keywords: pneumatic actuator, actuator, throttle control flap, valve.

Введение

В пневматических и гидравлических исполнительных устройствах с большими диаметрами условного прохода и значительными перепадами давлений возникает задача обеспечения надежной работы непосредственно регулирующих органов, на валу которых возникают неуравновешенные усилия и крутящие моменты, что приводит к необходимости использования приводов с увеличенной мощностью.

При применении мембранных исполнительных механизмов для улучшения амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик, а так же коэффициент качества системы автоматического регулирования необходимо значительно снижать неуравновешенные усилия и моменты на валу дроссельных заслонок и поворотных клапанов, при этом целесообразно использовать профилированные регулирующие органы.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований профилированных дисков на аэродинамических стендах, даны моментные характеристики, позволяющие применять пневматические и гидравлические приводы со значительно уменьшенной мощностью, а так же практические рекомендации по профилированию дисков дроссельных заслонок и обратных клапанов поворотного типа.

Регулирующие органы поворотного типа широко используются в различных отраслях промышленности: химической, нефтеперерабатывающей, в криогенном и вакуумном машиностроении (1,2,3) в качестве элементов систем автоматического регулирования и дистанционного управления (4,5). Такие регулирующие органы применяются в трубопроводах с диаметром условного прохода $D_u=100-1000$ мм и могут работать в диапазоне давлений от 0,06 МПа до 2,5 МПа. В качестве приводов для регулирующих органов поворотного типа используют мембранные или поршневые исполнительные механизмы (6,7,8) рис.1а,б.

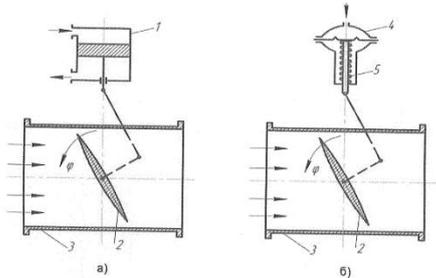


Рис.1. Исполнительные устройства для пневматических и гидравлических систем управления. 1а. Поршневое исполнительное устройство: 1-пневмопривод двойного действия; 2 – регулирующая дроссельная заслонка; 3 – трубопровод. 1б. Мембранное исполнительное устройство: 2- регулирующая дроссельная заслонка, 3- трубопровод, 4 – мембранный механизм, 5- пружина.

Как известно, одним из способов получения требуемой моментной характеристики регулирующего органа, является его профилирование.

При обтекании потоком плоской регулирующей дроссельной заслонки (рис.2) противодействующий крутящий момент определяется следующей кривой $M=f(\varphi)$, а максимальный крутящий момент от угла поворота заслонки может быть определен по следующей зависимости (9)

$$M_{max} = 0,0654D^3 \Delta p \text{ (кг х м)}$$

Где D – диаметр заслонки, м, p – перепад давления, мм.вод.ст.

Проведенные ранее исследования показали, что путем профилирования и использования выпукло-вогнутых профилей заслонок максимальный гидродинамический крутящий момент может быть значительно уменьшен.

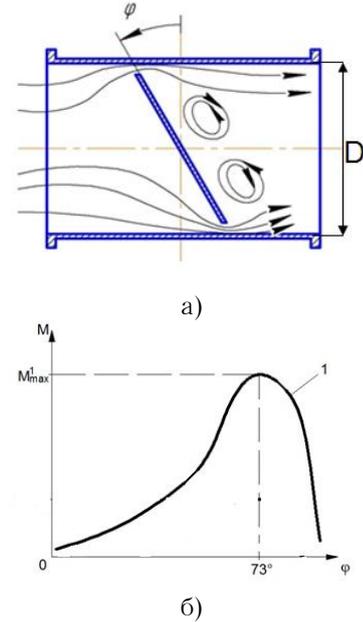


Рис.2 Моментная характеристика плоской дроссельной заслонки. а. Картина обтекания заслонки: φ – угол поворота заслонки от положения полного закрытия; D – диаметр заслонки. б. Зависимость крутящего момента на валу заслонки в функции угла поворота заслонки.

Опытным путем на стендах определено, что максимальный момент на выпукло-вогнутых заслонках с несущей втулкой d_v (рис.3),

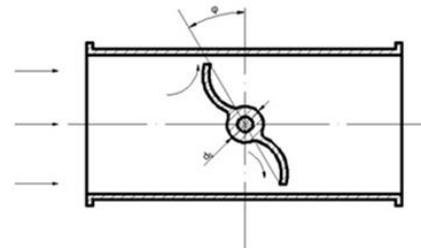


Рис.3 Схема обтекания выпукло-вогнутого профиля с несущей втулкой.

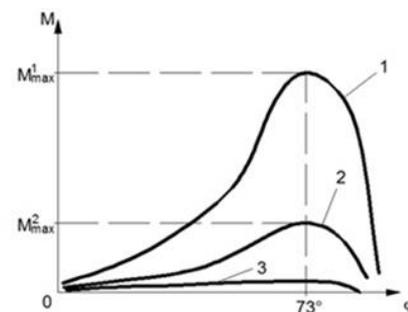


Рис. 4 Зависимость противодействующего крутящего момента от угла поворота: 1- плоская заслонка в круглом трубопроводе; 2- выпукло-вогнутая с несущей втулкой заслонка в круглом трубопроводе; 3- выпукло-вогнутая заслонка с тонкой осью в прямоугольном трубопроводе.

установленных в трубопроводе круглой формы, может быть уменьшен в 3-3,5 раза, а в трубопроводе прямоугольной формы с тонкой осью в 18-20 раз. (рис.4)

Следует отметить, что для обеспечения прочности при значительных перепадах давления дроссельные заслонки в круглых и в прямоугольных трубопроводах должны иметь несущую втулку, через которую проходит вал.

В компрессорных и вакуумных системах зачастую используются трубопроводы прямоугольного сечения со значительными габаритными размерами. В таких трубопроводах устанавливают регулирующие органы с гидравлическим приводом. Для существенного снижения усилия привода (6) целесообразно в дроссельном узле вместо одной плоской заслонки установить несколько плоских заслонок, разделенных отсекателями и имеющих один выходной вал, то есть применить жалюзную конструкцию (рис.5). Как известно (3,4,5) суммарный противодействующий момент на валу жалюзной заслонки зависит от числа жалюзей z . Таким образом, суммарный момент может быть уменьшен в z раз.

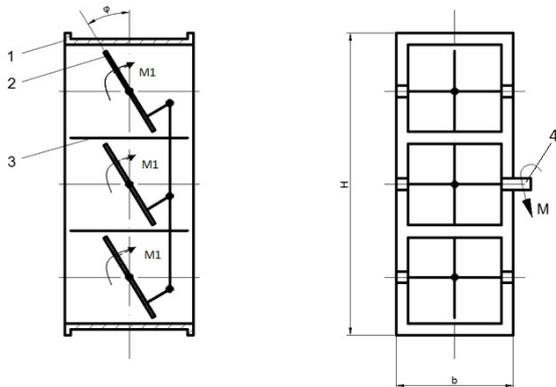


Рис.5. Жалюзная заслонка: H — высота заслонки, b — ширина заслонки, $M\Sigma$ — суммарный противодействующий момент. 1- корпус, 2 — жалюзная заслонка, 3 — отсекатель, 4 — выходной вал (к приводу).

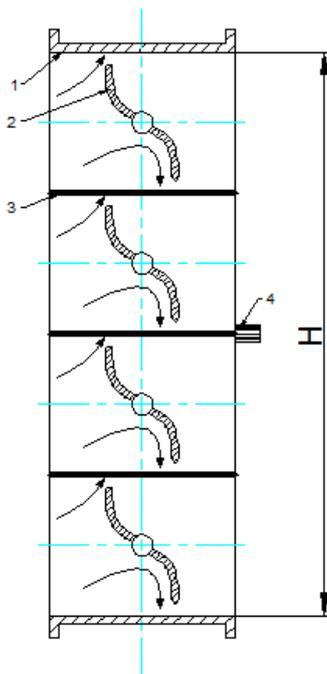


Рис.6. Обтекание жалюзной заслонки с выпукло-вогнутыми профилями. H — высота заслонки, $M\Sigma$ — суммарный

противодействующий момент. 1- корпус, 2 — профильная жалюзная заслонка с несущей втулкой, 3 — отсекатель

Если в жалюзной заслонке вместо плоских профилей использовать профили выпукло-вогнутого типа, то момент на единичном профиле жалюзной заслонки может быть уменьшен в 3 раза.

Таким образом применение профилированных дроссельных заслонок в жалюзных конструкциях позволяет существенно снизить необходимую мощность пневматического или гидравлического привода. А так же за счет снижения развиваемых усилий на приводе можно повысить качество процессов регулирования (7,8) компрессорных и вакуумных систем.

При эксплуатации исполнительных устройств в пневматических и гидравлических системах с большими диаметрами условного прохода и значительными перепадами давления возникает задача обеспечения надежной работы непосредственно регулирующих органов — односедельных клапанов, на дисках которых возникает существенные неуравновешенные усилия, что приводит к необходимости использования приводов с уменьшенной мощностью. При применении пневматических исполнительных механизмов для обеспечения необходимых скоростей движения поршня привода, а также заданных конечных скоростей посадки клапана на седло следует использовать системы торможения, повышающие надежность работы перекрывающих устройств.

Приведены расчетные данные, позволяющие оценить создаваемые усилия на диске клапана перекрывающего устройства, результаты экспериментальных исследований динамических характеристик пневматических исполнительных устройств с обеспечением заданных по ходу поршня скоростей движения клапана. Рассмотрены способы торможения привода, даны конкретные рекомендации по выбору параметров тормозных устройств.

В пневматических, вакуумных и криогенных системах (1) в качестве регулирующих и перекрывающих устройств широко применяются различные клапаны, управляемые приводами. К таким устройствам предъявляются определенные требования: надежность работы, обеспечение заданного времени срабатывания и закона движения по ходу перекрывающего клапана.

В связи со сжимаемостью воздуха и рядом других факторов, оказывающих влияние на протекающие в приводах процессы, пневматические исполнительные устройства в ряде случаев не могут обеспечить с большой точностью заданный закон движения регулирующего или перекрывающего органа, в том числе и с равномерным его движением.

При эксплуатации пневматических устройств, состоящих из пневмоцилиндра и клапана, используются различные схемы подачи протекающей среды и нагружения клапана (рис.7)

Для обеспечения надежной работы перекрывающего органа целесообразно ограничивать конечную скорость посадки клапана на седло. В качестве материала для торцевых уплотнений в пневмоклапанах криогенных систем широкое применение находит фторопласт, что обусловлено его исключительной химической стойкостью. Фторопласт обладает ползучестью, свойством, заключающимся в том, что с течением времени под действием постоянной нагрузки материал непрерывно медленно деформируется.

В криогенной технике широко применяются перекрывающие устройства с пневматическим приводом с диаметром

условного прохода Ду 100-Ду 400. Принципиальная схема такого перекрывающего устройства представлена на рис.8.

Наиболее широко применяются пневматические исполнительные устройства с произвольной скоростью движения

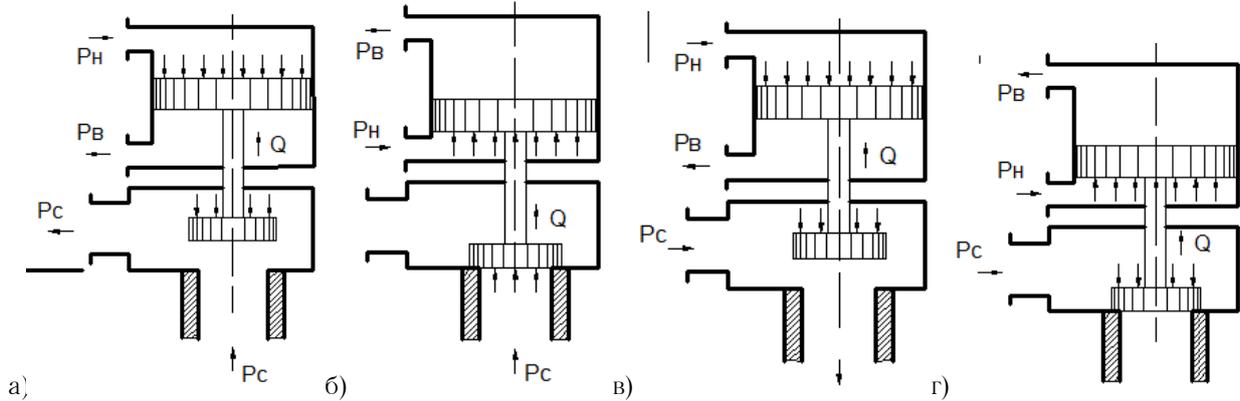


Рис.7 Различные виды нагружения клапана. А,б — давление P_c среды «под клапан» при закрытии и открытии. В,г — давление P_c среды «на клапан» при закрытии и открытии. P_n, P_v — давление в полостях наполнения и выпуска, X — направление движения поршня, Q — сила, действующая на шток.

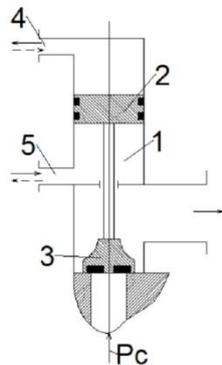


Рис.8 Перекрывающее устройство с пневмоприводом: 1 — пневмоцилиндр, 2 — поршень, 3 — клапан, 4 — штуцер наполнения, 5 — штуцер выпуска воздуха из магистрали, P_c — давление среды.

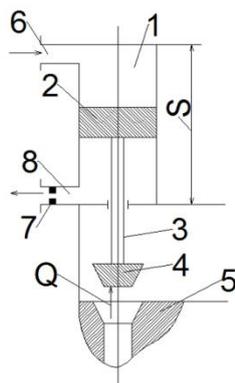


Рис.9 Расчетная схема исполнительного устройства. 1 — пневмоцилиндр, 2 — поршень, 3 — шток, 4 — клапан, 5 — седло клапана, 6 — штуцер наполнения, 7 — штуцер выпуска с дроссельной шайбой, Q — сила, действующая на шток клапана.

Для получения малых скоростей движения клапана целесообразно применять системы торможения со специальными дроссельными шайбами, встроенными в штуцера цилиндра (рис.9). Дроссель и обратный пневмоклапан (см. рис 10.) конструктивно выполняются в виде одного узла, установленного в корпусе штуцера 1. Обратный клапан имеет

в середине хода и с торможением в его конце, чтобы избежать удара, недопустимого при выполнении ряда технологически операций. Расчетная схема такого исполнительного устройства приведена на рис. 9

запорный элемент шайбу 2 и пружину 3. В шайбе выполнены дроссельные отверстия 5. При подаче воздуха в полость наполнения (по стрелке А) пневмоцилиндра шайба под действием давления отжимает пружину и отходит от седла 4, освобождая полное сечение для прохода воздуха. Одновременно в полости выпуска обратный клапан закрыт, и воздух выходит только через дроссельные отверстия (по стрелке Б).

При движении поршня в полости выпуска из-за резкого уменьшения проходного сечения возникает «газовая пружина», которая тормозит поршень. Для обеспечения заданного времени срабатывания устройства необходимо добиваться ускорения поршня в начале хода и его торможения в конце хода. При этом можно задать закон изменения скорости поршня пневмопривода на всем его ходе и его необходимую конечную скорость, что позволит обеспечить безударную посадку клапана, управляемого приводом, на седло.

Экспериментальные исследования с пневмоцилиндрами диаметрами 80,100 и 150 мм показали, что путем установки в штуцерах выпуска дроссельных шайб можно получать заданные конечные скорости посадки клапана на седло. На рис.11 приведены зависимости скорости движения клапана от хода привода. Причем для обеспечения надежной работы седла клапана, выполненного из фторопласта-4, предельная допустимая конечная скорость v_k при посадке клапана на седло не должна превышать 10 мм/с.

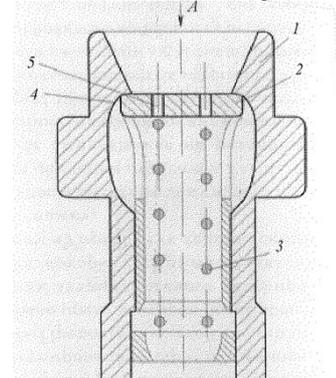


Рис. 10. Схема обратного клапана со встроенным дросселем: 1 — корпус штуцера, 2 — дроссельная шайба, 3 — пружина, 4 — седло, 5 — дроссельные отверстия.

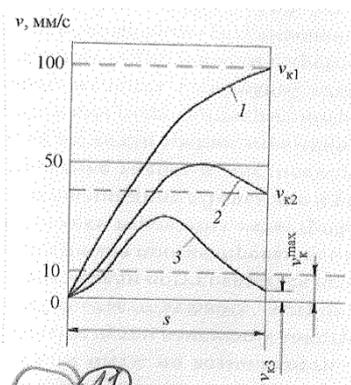


Рис. 11. Схема обратного клапана со встроенным дросселем: 1 — корпус штуцера, 2 — дроссельная шайба, 3 — пружина, 4 — седло, 5 — дроссельные отверстия.

В результате экспериментальных исследований значительное снижение скорости движения привода при подходе клапана к седлу достигается за счет дросселирования воздуха на выпуске (рис 11, кривые 1,2), т.е. путем установки

Литература:

1. Архаров А.М., Афанасьев В.Н., ред. Теплотехника. Москва. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана 2011. 792с
2. Гидромеханика: учеб. Пособие, /Д.Н. Попов, С.С. Панаиотти, М.В.Рябинин : под ред Д.Н. Попова 3-е изд., испр.-М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014 г-317 с илл.
3. Наземцев А.С. Гидравлические и пневматические системы. Часть 1. Пневматические приводы и средства автоматизации: Учебное пособие.-М., Форум, 2004.-240с, ил.
4. Наземцев А.С. Гидравлические и пневматические системы. Часть 2. Пневматические приводы и системы. Основы. Учебное пособие.-М., Форум, 2007.-250с, ил.
5. Наземцев А.С. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Омск, изд-во ОмГТУ, 2008-88с.
6. Никитин О.Ф. Гидравлика и Гидропневмопривод. Учебник-М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010 -414 с.
7. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем (Д.Н. Попов, Междун. Симп. Казань, 5-7 декабря, 2006 — с.152-159. 2, Краус, М. Измерительные информационные системы.
8. Егупов Н.Д. Пупков К.А. Гаврилов А.И., Коньков В.Г. Нестационарные системы автоматического управления(под ред.Пупкова К.А., Егупова Н.Д.), Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007,632с
9. Макаров А.Н., Шерман Я.Я. «Расчет дроссельных устройств», «Металлургиздат»,М,1953
10. Вакуумная техника. Справочник. / К.Е.Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К.Никулин и др/ под общей редакцией К.Е. Демихова, Ю.В.Панфилова, 3-е издание переработанное и дополненное. М.:Машиностроение,2009,590с.
11. Krivts I.L., Krejnin G.V. Pneumatic Actuating Systems for Automatic Equipment: Structure and Design. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. XX, 345 p.

Методы получения керамических композитных мембран с нано- и микропорами

Аверина Юлия Михайловна, к.т.н., доцент каф. ИМиЗК, председатель ОСМУСС;
 Рыбина Евгения Олеговна, студентка 3 курса факультета инженерной химии;
 Калякина Галина Евгеньевна, студентка 4 курса факультета инженерной химии
 РХТУ им. Д.И. Менделеева
 Субчева Елена Николаевна, старший сотрудник
 ООО «ВЕРАХИМ»

К керамике относятся изделия из неорганических неметаллических материалов, таких как природных (глина, каолин, тальк, шпинель, карбонаты, карбиды), так и техногенных (Al_2O_3 , TiO_2 , MgO , SeO_2 , ZrO_2 слоистые силикаты, и их комбинации, а также карбиды металлов, Va_2Ti и др.) [1].

Для производства керамических мембран широко используется глинозем (Al_2O_3), особенно прочной и химически стойкой модификацией которого является $\alpha-Al_2O_3$ (корунд), в который β - и γ -формы переходят при $1480^\circ C$.

В процессе производства керамических мембран выделяют три основные стадии:

- формование мембраны;

дроссельных шайб в штуцере выпуска. При определенной минимальной площади дроссельного отверстия может быть достигнута и минимальная конечная скорость движения поршня, которая обеспечивает безударную посадку клапана на седло (рис.11, кривая 3). Использование дросселей в полости выпуска позволяет в 5-10 раз снизить скорость посадки клапана на седло и тем самым повысить надежность работы перекрывающих устройств.

Выводы:

Применение в пневматических исполнительных устройствах профилирование регулирующих дроссельных заслонок, а так же применение жалюзиных заслонок позволяет существенно снизить необходимые мощности привода, повысить качество процессов регулирования.

Обеспечение необходимых средств движения пневмоцилиндра позволяет существенно повысить надежность исполнительных устройств за счет снижения конечной скорости посадки клапана на седло.

- сушка;
- обжиг.

1. Формование осуществляется сухим прессованием (воздействие давления в диапазоне 200–700 атм. на порошок, смоченный небольшим количеством масла или воды), шликерным литьем (шликер — суспензия керамики, содержащая до 35 % твердой фазы) и экструзией (керамическая масса продавливается через фильеру с образованием трубок). Самым распространенным способом получения керамических мембран является их формование в виде трубок [2].

2. Сушка осуществляется либо на стеллажах в воздушной атмосфере при комнатной температуре, либо в инфракрасных или СВЧ-сушилках.

3. Обжиг (спекание), в ходе которого образуются физико-химические связи между частицами керамических порошков, осуществляется в муфельной печи при температуре 1100–1500°C.

Формуются как одноканальные, так и многоканальные трубчатые керамические мембраны, однако самыми распространенными являются керамические трубчатые мембраны, поэтому наиболее актуально рассматривать именно их.

Трубчатые керамические фильтрационные муллитокорундовые мембраны с внешним рабочим слоем содержат не менее 85 % оксида алюминия, производятся в соответствии с ТУ 5754-001-02066492-01, применяются в аппаратах микрофильтрации для разделения и очистки жидких сред (суспензий и эмульсий) [1,3]

Данные керамические мембраны имеют узкое распределение пор по размеру (рисунок 1).

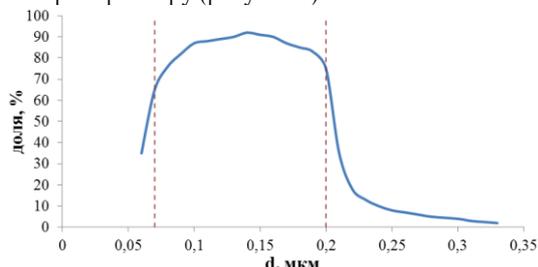


Рис 1. Распределение пор по размерам в керамических мембранах.

Таблица 1. Физико-технические показатели керамических трубчатых мембран

Открытая пористость, %, не менее	42
Прочность при диаметральном сжатии, МПа, не менее	5
Оптимальный размер (диаметр) пор, мкм	
для подложек	3
для мембран	0,05-0,5
Проницаемость по дистиллированной воде через 10 часов работы при перепаде давления 0,1 МПа, м ³ /м ² ч, не менее	1,0
Кислотостойкость, %, не менее	97,5
Щелочестойкость, %, не менее	90,5

Однако, несмотря на то, что в настоящее время керамические трубчатые мембраны с селективным слоем заняли определённую нишу как отечественного, так и зарубежного рынка, одним из ключевых факторов является выбор селективного слоя, который по сути, определяет свойства получаемой мембраны. На сегодняшний день наибольшее распространение получили мембраны с полимерным селективным слоем, однако он имеет ряд существенных недостатков, таких как:

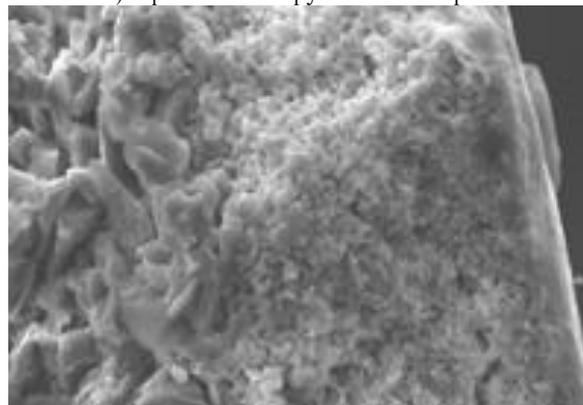
- малый диапазон рабочих температур, ввиду того, что большая часть полимеров не выдерживают стерилизацию паром;
- ограниченная химическая стойкость, что дает ограничения при разделении агрессивных сред;
- низкая механическая стойкость, обуславливающая малый срок службы.

Стоит отметить, что неорганический селективный слой мембран также имеет ряд нерешенных проблем, в частности:

- ограничение по пористости,



а) керамическая трубчатая мембрана



б) мембранный слой на керамической подложке

Рис 2. Фотография керамических мембран

- высокая толщина, а, следовательно, низкая производительность,

- высокая стоимость,
- хрупкость.

Эти недостатки можно в значительной степени уменьшить, а некоторые исключить при использовании наночастиц оксидов металлов с наименьшим разбросом по размерам и сферической формой. Традиционно, такие частицы получают золь-гель технологией, но этот процесс дорогостоящий и влечет значительные затраты по времени. Экономически наиболее выгодным является процесс плазмотермического получения нанопорошков. При данном способе получения порошок наночастиц имеет средний размер частиц около 100 нм (разброс частиц по размерам 40-180 нм), что позволит обеспечить размер пор порядка 50 нм после спекания (рисунок 3).

Для обеспечения необходимого уровня адгезии к пористой матрице (материал матрицы — корунд $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), наибольший интерес представляет использование частиц из того же материала, а именно наноразмерных частиц оксида

алюминия, а также ряда керамических наночастиц, по аналогии с существующими селективными слоями (оксиды магния, титана и др.)

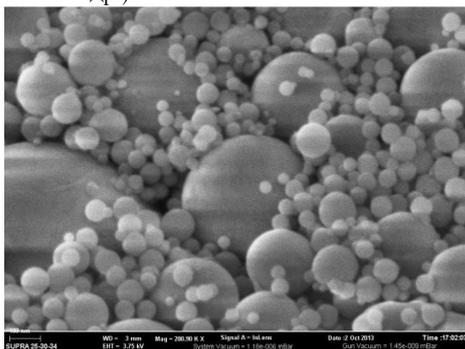


Рис 3. СЭМ-микрофотография наночастиц оксида алюминия, полученного плазмотермическим способом [4]

Литература:

1. Ю. М. Аверина, Е. Н. Субчева, Е. В. Юртов, О. В. Зверева Композиционные материалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения // — РХТУ им. Д. И. Менделеева Москва, 2017. — 128 с
2. Ю.М. Аверина, Г.В. Терпугов, О.В. Кацерева, А.А. Труберг, А.Л. Скопин, О.В. Кабанов, И.Ф. Ляпин Новые технологические процессы с применением мембран: учебно-методическое пособие. - М.: Издательство РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2009 - 72 с.]
3. Аверина Ю.М. Интенсификация процесса аэрации при удалении ионов железа из воды//Кандидатская диссертация по специальности 05.17.01 - Технология неорганических веществ (техн. науки) ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева
4. Электронный ресурс http://plasmotherm.ru/catalog/oxides/item_21.html
5. Haiping Chen, Yanan Zhou, Xin Su, Sutian Cao, Yanda Liu, Dan Gao, and Liansuo An. Experimental study of water recovery from flue gas using hollow micro-nano porous ceramic composite membranes.// Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol.57, 349-355, January, 2018

Инновации. Интеграция научных знаний в производственную деятельность

Семенов Сергей Владимирович, кандидат технических наук
ЗАО «НИИ Центрпрограммсистем», г. Тверь

Аннотация. Интегрировать научные знания в производственную деятельность в современных условиях возможно через инновационную деятельность (ИД). Перспективные научные идеи могут быть доведены до практической реализации (коммерциализироваться) добавлением информации о возможностях реализации, возможностях внедрения (приобретения) результатов и непосредственной поддержкой реализации в виде инновационного проекта. Поддержку ИД, в условиях программы «Цифровая экономика», наиболее целесообразно реализовывать в виде цифровой платформы. Понятие цифровой платформы (ЦП) является развитием порталных, распределенных сетевых и облачных технологий поддержки научной и проектной деятельности. Насыщая облачные платформы сервисами прикладных задач и добавляя современные возможности коммуникаций для многих заинтересованных сторон, формируется самоорганизующаяся цифровая среда решения задач предметной области на совершенно новом качественном уровне. ЦП поддержки ИД должна как минимум включать четыре блока компонентов: Сервисы, Информационная база, Центры компетенций и Средства взаимодействия заинтересованных сторон. Каждый сервис ЦП реализует одну из задач ИД некоей предметной области, на основе распределенной информационной базы с участием специалистов из виртуальных Центров компетенций и заинтересованных в инновационном проекте сторон.

Переход российской экономики на инновационные рельсы [1] на фоне перехода в цифровую модель экономики [2] требуют соответствующих новых методов и инструментов ведения промышленно-экономической деятельности. Общая цель инновационной экономики — это повсеместное создание конкурентоспособности и эффективности за счет активного внедрения научных знаний в товары, услуги, технологии, организацию производства [3]. Необходимым условием успешности инновационной экономики является создание условий для реализации широкого потока инновационных проектов, где «упаковываются» научные знания [4]. Эти

В работе [5] используется подход по получению керамической композиционной мембраны с разделением на подложку, промежуточный и непосредственно селективный слой. Селективный слой может быть также разделен на два слоя, на внутренний и внешний, Данные слои отличаются размером образующихся пор, один будет образовывать поры микро размера, а другой нанопоры, причем их размер порядка 20 нм.

Из вышесказанного следует, что спекание наночастиц на поверхности мембраны обеспечит размеры пор в селективном слое 5- 50 нм, что при незначительном увеличении стоимости готового продукта, позволит обеспечивать очистку воды (а в частности, возможность осуществления процессов обессоливания) за счет процессов ультра- и нано-фильтрации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РХТУ им. Д.И. Менделеева. Номер проекта Х032-2018

условия включают в себя в том числе и инновационную систему [5]. Но практика показывает, что становление инновационной системы в стране (на всех уровнях) идет крайне медленно и малоэффективно. Выходом из сложившейся ситуации может быть реализация методов и механизмов поддержки инновационной деятельности (ИД) в виде цифровой платформы, решающей задачи ИД на новом качественном уровне [6].

Целью создания цифровой платформы (ЦП) поддержки ИД, является количественный рост, качественная проработка и поддержка реализации инновационных проектов [7].

Конкурентоспособность и эффективность определяется возможностью широкомасштабного внедрения инновационных решений в продукты, технологии, управление и другие аспекты субъектов промышленно-экономической деятельности. Инновационные решения, включающие научные знания, появляются в качестве инициатив специалистов и оформляются в виде инновационных проектов, которые реализуются через инновационную деятельность.

Инновационная деятельность характеризуется высокой мотивацией и инициативой специалистов, как правило не связанный с заказной деятельностью организации [8]. Реализация ИД в рамках существующей заказной деятельности — невозможна. Поэтому новые методы управления ИД должны быть реализованы, как минимум, параллельно с заказной и на современных методах и средствах вычислительной техники, в частности на цифровых платформах.

В отличие от управления заказной деятельностью, основанной на планировании работ, способы управления ИД заключаются в оперативном обеспечении доступа инноваторов ко многим видам поддержки и обеспечения, эффективного взаимодействия многих заинтересованных сторон, профессиональных консультаций от Центров компетенций.

ИД требует решения как многих принципиально новых задач, так и старых задач, но решаемых на новом качественном уровне. В частности, работа с большими объемами многоаспектной информации; количественная, качественная и стоимостная оценка результатов ИД [9]; оперативное взаимодействие с Центрами компетенций; решение вопросов мотивации и стимулирования участников, формирование новых организационных форм ИД и т.п. Так как одним из важнейших аспектов ИД является сокращение длительности жизненного цикла (ЖЦ) нового изделия, то решение новых задач ИД должно строиться на основе последних достижений информационных технологий (ИТ). Предлагаемый способ управления ИД в виде ЦП хорошо согласуется с инициативами государства по реализации инновационной модели экономики [1] и программы создания цифровой экономики страны [2].

Для формирования и реализации инновационного проекта (ИП) необходима всесторонняя поддержка ИД. В первых, необходима программно-информационная самоорганизующаяся среда поддержки ИД, настраивающаяся на соответствующий этап ЖЦ и заинтересованную сторону ИД.

Во-вторых, эта среда должна оперативно предоставлять инициатору инновационного проекта или другой заинтересованной стороне (например, эксперту) необходимую информацию, сервисы, возможности коммуникаций с другими заинтересованными сторонами и специалистами из Центра компетенций в любое время.

В-третьих, сервисы должны поддерживать инноватора в решении ряда задач рутинного и информационного характера (поиск, «упаковка», презентация, расчеты и т.п.). А также предоставлять статистическую и другую отчетную информацию о ходе ИД и состоянии ИП для других заинтересованных сторон (экспертов, инвесторов, управляющих структур и др.)

В-четвертых, эта среда должна также поддерживать деятельность по формированию, защите и передаче интеллектуальной собственности (ИС), получаемой в результате ИД.

В-пятых, эта среда должна обеспечить прозрачность существования проекта и хода его реализации для всех заинтересованных сторон с целью управления формированием цепочек

предприятий по реализации проекта по всему ЖЦ, мониторинга прохождения ИП по этапам ЖЦ, оперативного управления распределения ресурсов и т.п.

В-шестых, эта среда должна поддерживать деятельность Центров компетенций в некоторой сфере ИД, реализованной в виде распределенной сети специалистов, взаимодействующих через средства коммуникации, не зависимо от расстояния между ними. Знания специалистов могут погружаться в соответствующие сервисы, использующие методы искусственного интеллекта, с целью привлечения самих специалистов Центров компетенций только для решения сложных вопросов и задач.

В-седьмых, эта среда должна позволять интегрировать различные инициативные (инновационные) предложения в комплексные инновационные проекты, направленные на создание сложной высокотехнологичной продукции. Эта задача возникает в случаях, когда одно инновационное предложение по изделию влечет за собой целый ряд изменений (часто инновационных) в технологии, в других продуктах, в организации, в логистике, в услугах и т.п. Такие задачи требуют особых методов принятия решений и управления, учитывающих возможные последствия для многих заинтересованных сторон.

В-восьмых, эта среда должна способствовать организационному управлению взаимодействия объектов и субъектов в рамках ИД. Реализация ИП часто требует новых организационных способов проектирования и производства новой продукции. Предложение таких форм, наиболее подходящих для успешной реализации ИП также является важной функцией управления ИД.

В-девятых, эта среда должна обеспечить защиту информации от несанкционированного доступа (НСД) в случае разделения информации по проекту на открытую, конфиденциальную и секретную, а также должна обеспечить защиту средств коммуникации при удаленном взаимодействии заинтересованных сторон.

На рисунке 1 представлена концептуальная схема Цифровой платформы поддержки инновационной деятельности.

Основные компоненты ЦП	Основные функции компонентов	Основные свойства компонентов
Сервисы поддержки инновационной деятельности	Поиск инноваций. Оценка идеи (проекта). Упаковка проекта. Управление интеллектуальной собственностью и т.п.	Использование облачных технологий. Использование методов искусственного интеллекта. Удаленность доступа.
Центры компетенций в сфере ИД	Помощь инноваторам. Формирование сервисов на базе экспертных знаний. Совершенствования методик.	Распределенность. Поддержка виртуального и реального исполнения. Использование экспертных систем.
Информационная база	БД нормативных, правовых, методических материалов. БД партнеров, инвесторов, потребителей. Шаблоны, типовые схемы, типовые расчеты.	Распределенность информации. Удаленность доступа. Разграничение доступа. Защита от НСД. Связь с BigData.
Коммуникации заинтересованных сторон (ЗС)	Взаимодействие ЗС. Учет и увязка интересов ЗС. Поиск партнеров, потребителей, инвесторов. Выработка общих принципов и общих технологий взаимодействия.	Поддержка взаимодействия ЗС в открытых и закрытых сегментах глобальной коммуникационной сети. Защищенность общения ЗС.

Рисунок 1. Концептуальная схема Цифровой платформы поддержки инновационной деятельности.

Все компоненты ЦП и ее отдельные элементы связаны друг с другом, для решения общих задач инновационного

проекта. ЦП решает задачи по автоматизированной поддержке (в виде сервисов) следующих видов обеспечения ИД.

Информационная поддержка (предоставление информации, данных):

- База данных (БД) идей, патентов, результатов интеллектуальной деятельности (РИД), публикаций (статьи, доклады, диссертации и т.п.);
- Справочные и энциклопедические материалы;
- БД партнеров, инвесторов, потребителей инноваций и других ЗС;
- Другая информация, получаемая из сторонних источников, на основе партнерских договоров по обмену информацией (в том числе и с центрами обработки больших данных).

Методическая поддержка ИД и поддержка обучения:

- По стимулированию творческого мышления инноваторов;
- По поиску аналогов;
- По оформлению результатов (в том числе схема размытия прав, лицензионные договора и т.п.);
- По упаковке проектов (в соответствии с этапом ЖЦ) и представлению презентаций;
- По переговорам с партнерами, инвесторами, потребителями инноваций;
- По формированию и закреплению прав на ИС;
- По избежанию конфликтов между субъектами ИД и т.п.

Поисковая поддержка (поиск, подбор, обоснование выбора, как в информационной базе ЦП, так и в открытых источниках):

- Патентный поиск (объекты патентного и авторского права, РИД);
- Нормативный поиск;
- Поиск партнеров (по ЖЦ, соисполнителей, органов государственной власти, учебных и научных организаций);
- Поиск инвесторов (институциональные, частные, государственные, ведомственные программы и т.п.);
- Поиск потребителей инновации (следующие исполнители по этапу ЖЦ; конечных потребителей; объектов, куда может быть включена данная инновация) и т.п.

Программная поддержка:

- Программная поддержка разработки и предоставления сервисов видов обеспечения и поддержки;
- Программная реализация интеграционных задач ЦП;
- Программная поддержка коммуникационной деятельности ЗС в открытом и закрытом сегменте сети передачи.

Организационная поддержка:

- Подбор подходящей организационной формы ИД под конкретный инновационный проект и формирование пакета типовых документов;
- Создание виртуальной инновационной системы:
 - Виртуальное инвестиционное агентство;
 - Соглашения с реальными инфраструктурными организациями (инвесторами, институтами развития, фондами, ведомствами и т.п.);
 - Разработка «правил игры» ведения инновационной деятельности в условиях цифровой платформы;
- Создание и поддержка виртуальных организационных форм реализации инновационных проектов;

- Формирование виртуального сообщества экспертов и оценщиков инновационных проектов;

- Формирование Центров компетенций по различным аспектам ИД.

Коммуникационная поддержка:

- Поддержка открытых способов информационного взаимодействия между заинтересованными сторонами (в том числе поддержка общепринятых средств общения в сетях);
- Поддержка закрытых форм общения при работе с конфиденциальной и секретной информацией;
- Обеспечение защиты информации и каналов связи (всех необходимых видов защиты);
- Возможность подключения к другим цифровым платформам.

Поддержка по различным расчетам:

- По количественной и качественной оценке получаемых результатов в ИД;
- По стоимостной оценке результатов, получаемых на каждом этапе ЖЦ;
- По расчетам сметы затрат на этап проекта и другие расчеты.

Поддержка по научной проработке проектов:

- Установление связей с научными коллективами (организациями, отдельными учеными), имеющих возможности и желание участвовать в инновационных проектах;
- Организация распределенного удаленного взаимодействия научных коллективов с инноваторами;
- Разработка «правил игры» для взаимодействия субъектов ИД в условиях цифровой платформы и др.

Поддержка по проектной, конструкторской технологической и производственной проработке проектов:

- Установление связей с проектными (конструкторскими) организациями, имеющих возможности и желание участвовать в инновационных проектах;
- Организация распределенного удаленного взаимодействия проектных (конструкторских) организаций с инициаторами инновационных проектов;
- Установление связей с опытными и промышленными предприятиями, имеющих возможности и желание участвовать в реализации инновационных проектов;
- Организация распределенного удаленного взаимодействия с опытными и промышленными предприятиями с авторами инновационных проектов по технологической подготовке производства и налаживанию непосредственного производства инновационных изделий;
- Разработка «правил игры» для такого взаимодействия в условиях цифровой платформы.

Поддержка типизации (стандартизации) инновационной деятельности в условиях цифровой экономики и цифровых платформ:

- Накопление и анализ опыта использования цифровых платформ в поддержке инновационной деятельности;
- Разработка типовых схем ИД, типовых документов, нормативных актов;
- Совершенствование ЦП и технологии работы в условиях цифровой экономики и т.п.

Поддержка маркетинговой деятельности в ИД:

- Формирование типовых бизнес-моделей инновационной деятельности в условиях использования ЦП и рекомендации их к применению;
- Разработка типового комплекса мероприятий по формированию спроса на инновации;

- Формирование спроса на инновационную продукцию для конечного потребителя;

- Типовые решения вопросов по правам на инновации и схем вознаграждений.

Цифровая платформа поддержки ИД и ИП, позволяет значительно увеличить поток хорошо проработанных ИП, значительно ускорить реализацию одобренных и поддержанных проектов, при существенном сокращении стоимости этих проектов, за счет снижения издержек на информационное взаимодействие субъектов ИД. Кроме этого, прозрачность инициатив и хода реализации проектов позволяет организовать процессы управления и мониторинга разных уровней, с целью повышения эффективности деятельности органов управления экономическим развитием субъектов РФ.

Управление инициативной и инновационной деятельностью через использование ЦП обеспечивает:

- Повышение качества и обоснованности инновационных проектов;

- Сокращение сроков каждого этапа ЖЦ и всего ЖЦ изделий;

- Сокращение затрат на проектирование и внедрение инновационных изделий;

- Снижение рисков и повышение объективности оценок инновационных проектов.

Процесс управления ИД через применение Цифровой платформы решает следующие принципиальные задачи:

Первая задача ЦП — создание механизма появления, продвижения и реализации инициатив и инновационных проектов, с решением организационных задач ИД (миссия ЦП).

Вторая задача — всесторонняя поддержка творческого процесса в ИД, в результате которого появляется сначала инновационный проект (ИП), а затем инновационное изделие. При этом осуществляется поддержка формирования ИС и работы с ней (функциональные компоненты ЦП).

Литература:

1. «Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года». Распоряжение Правительства РФ от 08.12.2011 N 2227-р.

2. Программа "Цифровая экономика Российской Федерации". Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

3. Семенов С.В. Инновации. Инновационная деятельность. URL: <http://swsys-web.ru/innovative-activities.html>.

4. Семенов С.В. Инновации. Системные основы. URL: <http://swsys-web.ru/innovation-system-basics.html>.

5. Красноперова Т.Я. Национальная инновационная система: структура, роль финансовой составляющей. ЭКОНОМИКА И ФИНАНСЫ. МЕНЕДЖМЕНТ. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, № 6 (88).

6. Цифровая платформа. Видение ПАО «Ростелеком». Региональный семинар МСЭ. 18, 19 сентября 2017 /Узбекистан, Ташкент.

7. Цифровые платформы. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.

8. Семенов С.В. Инновации. Понятие и определения. URL: <http://swsys-web.ru/innovation-concept-and-definition.html>.

9. Азгальдов Г.Г., Костин А.В. Интеллектуальная собственность, инновации и квалиметрия // Экономические стратегии, 2008. - №2. — С.162 — 164

УДК 538.9

Расчет объема динамического дефекта эффекта Горбунова

Авдоченко Б.И., д.т.н., профессор

Суторихин В.А., м.н.с.

ТУСУР, Томск

Ключевые слова: дефектоскопия металлов, динамический дефект, эффект Горбунова, радар Доплера.

Введение

Разработанный в 2008 году новый тип дефектоскопа, работающего с использованием эффекта Горбунова [1,2] показал значительные преимущества по надежности и удобству применения по сравнению с методами ультразвуковой локализации. Новый прибор не требует использования дополнительной механической нагрузки исследуемых объектов, что значительно сокращает время измерения при высокой надежности обнаружения внутренних дефектов. Характеристики обнаруживаемых дефектов, динамического или статического, имеют разную степень опасности. Динамический дефект проявляется при наличии внутренних и внешних повреждений, статический дефект – на начальной стадии разрушения металла, при деформации кристаллических решеток, при механических напряжениях внутри металлов. Наиболее актуальным является обнаружение, исследование и определение границ начальной стадии разрушения. Статья рассматривает возможности определения объема дефекта, который может быть обнаружен новым прибором.

Расчет предельной чувствительности

Высокая чувствительность прибора достигается благодаря использованию при регистрации фазового метода. Известно [3], что индекс угловой модуляции β прямо пропорционален фазовому сдвигу X , вызванному модуляцией, и обратно пропорционален максимальному сдвигу фазы несущего колебания ($\pi/2$). Отношение амплитуды несущего колебания к амплитуде боковой составляющей относится как половина индекса угловой модуляции $\beta/2$.

Математическая модель однотональных ФМ сигналов с любым значением индекса β получается разложением в ряд функции Бесселя:

$$u(t) = U_{\beta} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta) \cos(\omega_0 t + k\Omega t) \quad (1)$$

где $u(t)$ – спектральные составляющие фазомодулированного колебания частотой ω_0 , для функции Бесселя $J_k(\beta)$, U_{β} – амплитуда несущей фазовой модуляции.

Из этого выражения следует, что спектр сигнала содержит бесконечное число составляющих – нижних и верхних боковых колебаний, с частотами $\omega_0 \pm k\Omega$, которые соответствуют гармоникам частоты модуляции, с амплитудами, пропорциональными значениям $J_k(\beta)$. Для однотональной модуляции выражение (1) можно преобразовать к виду [70]:

$$u(t) = U_{\beta} \cos(\beta \sin(\Omega t)) \cos(\omega_0 t) - U_{\beta} \sin(\beta \sin(\Omega t)) \sin(\omega_0 t) \quad (2)$$

При малой величине индекса β ($\beta \ll 1$) основные значения имеют только первые гармоники, поэтому:

$$\cos(\beta \sin(\Omega t)) \approx 1, \quad \sin(\beta \sin(\Omega t)) \approx \beta \sin(\Omega t)$$

При подстановке в (2), получаем:

$$u(t) = U_{\beta} \cos(\omega_0 t) + (\beta U_{\beta} / 2) \cos((\omega_0 + \Omega)t) - (\beta U_{\beta} / 2) \cos((\omega_0 - \Omega)t) \quad (3)$$

где $\beta U_{\beta} / 2$ – амплитуда боковой составляющей фазомодулированного сигнала.

Из выражения (3) следует, что амплитуда несущей U_{β} при $\beta \ll 1$ значительно больше амплитуды боковых составляющих $\beta U_{\beta} / 2$. Расчетное отношение амплитуды несущей к амплитуде боковых составляющих:

$$2U_{\beta} / (\beta U_{\beta}) = 2 / \beta$$

Для уверенного обнаружения фазовой модуляции металлической поверхностью, возбуждаемой ультразвуком, уровень спектральной плотности боковой составляющей должен превышать уровень спектральной плотности шумов для рабочей температуры 300⁰ Кельвина (расчетное значение минус 144 дБ/мВт при полосе 1 Гц) минимум на 3 дБ. При мощности СВЧ несущей 1 милливатт и полосе приемника 1 Гц уровень спектральной плотности боковой составляющей должен превышать минус 141 дБ/мВт. При заданном отношении $\beta_{max} / \beta_{min}$, или X_{max} / X_{min} где X – сдвиг фазы несущего колебания, обусловленный действием модулирующего сигнала.

Принимаемая мощность имеет значение

$$P_{max} = -141 + 20 \lg(\beta_{max} / \beta_{min}) = -141 + 20 \lg(X_{max} / X_{min}) \quad (4)$$

Это означает, что боковая спектральная составляющая может превышать минимальный уровень (минус 141 дБ/мВт) на $20 \lg(\beta_{max} / \beta_{min})$.

При расчетах минимального уровня принимаемого сигнала следует учесть коэффициент шума приемного тракта, приведенный к входу (8-9 дБ), широкую полосу приема (1КГц, что соответствует увеличению шумов на 30 дБ) и коэффициент усиления приемника (20 дБ), что увеличит спектральную плотность шума, приведенную к выходу. Следовательно, ожидаемая на выходе приемника минимальная спектральная плотность полезного сигнала составит $-144 + 59 + 3 = -82$ дБ/мВт.

Экспериментальные измерения на отечественной аппаратуре (анализатор спектра СК4-59, ультразвуковой возбудитель сигнала частоты 44-50 кГц мощностью 4-5 Вт/см², СВЧ приемо-передатчик частотой 33 ГГц типа ДИАД-1), уровень спектральных шумов достигал значения минус 75-80 дБ/мВт. При этом уровень полезного сигнала от металлической поверхности, возбуждаемой ультразвуком, превышал шумовую спектральную мощность на 10-15 дБ [4,5,6].

При обращении к выражению (4), следует учитывать, что измеренная амплитуда полезного сигнала (дБ/мВт) прямо связана с фазой боковой составляющей фазовой модуляции относительно значения $\pi/2$ (в радианах) и могут быть выражены в дБ.

$$20 \lg 10 (2U_{\beta} / (\beta U_{\beta})) = 20 \lg 10 ((\pi/2) / X), \text{ или в относительных единицах}$$

$$2/\beta = \pi / (2X) \quad (5)$$

где $\pi/2$ – максимальная фаза несущей фазомодулированного сигнала,

Необходимо определить связь между относительным изменением проводимости поверхности $d\sigma/\sigma$ и относительным изменением фазы коэффициента отражения $X/(\pi/2)$.

Изменение уровня боковой составляющей фазомодулированного сигнала в зависимости от изменения поверхностной проводимости можно представить как производную мнимой части коэффициента отражения ($d\rho$) по переменной проводимости $dx = d(2\sigma/f)$.

$$d\rho/dx = \frac{1}{(1 + \sin B / (\cos B + \frac{1}{\sqrt{A}}))^2} - \frac{\cos B \frac{dB}{dx} (\cos B + \frac{1}{\sqrt{A}}) - \sin B (0,5^{-1,5} \frac{dA}{dx} - \sin B \frac{dB}{dx})}{(\cos B + \frac{1}{\sqrt{A}})^2} < 0$$

где $A = \text{mod } \varepsilon(\omega, \sigma) = \sqrt{\varepsilon_L^2 + (\frac{2\sigma}{f})^2}$, $2B = \varphi(\varepsilon) = \arctan(\frac{2\sigma}{\varepsilon_L f})$,

$$\varepsilon(\omega, \sigma) = \varepsilon_L + j \frac{4\pi\sigma}{\omega}, \quad \varepsilon(\omega, \sigma) - \text{комплексная диэлектрическая проницаемость, } \omega - \text{круговая частота (рад/с).}$$

ε_L - действительная часть диэлектрической проницаемости, σ - электропроводность металла.

Из выражения следует, что с учетом линейности характеристики $d\rho/d\sigma$, изменение фазы $d\varphi$ в два раза меньше изменения проводимости $d\sigma$.

Расчетная зависимость модуля и фазы коэффициента отражения от изменения проводимости поверхности от $2,34 \cdot 10^{11}$ до $2 \cdot 10^{11}$ для частоты 33 ГГц приведена на рисунке.

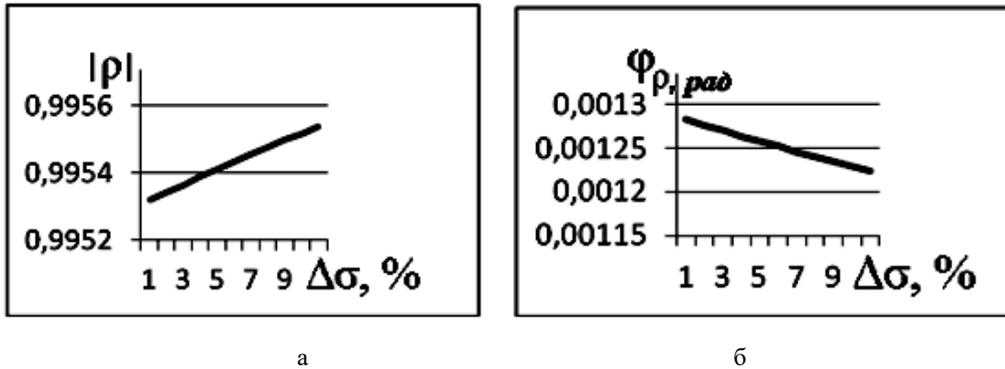


Рисунок. Зависимость модуля (а) и фазы (б) коэффициента отражения от изменения проводимости

По измеренному значению изменения фазы несущего колебания от действия модулирующей функции, вызывающей изменение поверхностной проводимости, увеличив это значение в два раза, получаем относительное изменение поверхностной проводимости в дБ:

$$-20 \lg_{10}((\pi/2)/X) + 6 = -20 \lg_{10}(\sigma/d\sigma). \quad (6)$$

Добавление 6 дБ отражает увеличение в проводимости 2 раза.

С учетом выражения (6), можно записать связь между относительным изменением фазы модулируемого сигнала и относительным изменением поверхностной проводимости

$$2dX/X = d\sigma/\sigma \quad (7)$$

Или в процентах при $X = \pi/2 = 100\%$, $\sigma = 100\%$, $2dX(\%) = d\sigma(\%)$.

Не вдаваясь подробно в физические процессы преобразования мощности ультразвука в изменение поверхностного заряда (поверхностной проводимости), можно оценить способность изменять поверхностную проводимость исследуемого образца внутренними дефектами.

Пусть объем особой области металла V , содержащий динамический дефект, представляет собой куб с гранью m (где m – число межатомных расстояний). Очевидно, изменение количества имеющихся на поверхности электронов проводимости пропорционально генерируемому ультразвуком дополнительным частицам проводимости находящихся внутри дефекта. Следовательно, поверхность, занятая этими новыми источниками может быть записана как R^2 , где R грань квадратной поверхности в единицах межатомных расстояний.

Предположим, что периодическая нагрузка образца с помощью ультразвука будет приводить к появлению многочисленных источников дополнительных зарядов в особой области дефекта. Тогда число новых источников проводимости на поверхности должно равняться новым источникам заряда (с противоположным знаком) в области динамического дефекта. Исходя из этих рассуждений можно записать-

$$m^3 = 6 * R^2, \quad R = 0,402 * m^{3/2}. \quad (8)$$

Следовательно, изменение поверхностной проводимости должно зависеть от размеров динамической области в степени 3/2. Например, для размеров области дефекта в виде куба с ребром 1 миллиметр ($m = 10^6$ атомных слоев, равных 1 нм), объем самого тела при изменении проводимости в 2 раза должен составить куб с ребром 2500 нм, или объемом $2,5 \cdot 10^3 \text{ нм}^3$.

На практике изменение поверхностной проводимости значительно меньше. Так при возбуждении ультразвуком мощностью 2-3 Вт/см² изменение экспериментальное значение проводимости составляет сотые доли процента. Выполняя пересчет указанной выше области динамического дефекта (1 мм³) в проводимость поверхности объекта, получим изменение проводимости на сотую процента ($d\sigma/\sigma = 10^{-5} = 0,01\%$).

В случае, когда исследователь может измерить изменение проводимости объекта $d\sigma$ под действием эффекта Горбунова, пользуясь (4) и (6), он в состоянии оценить размер динамического дефекта с учетом (7).

Пример расчета.

Пусть значение dX/X больше 0,0005 (0,005%, уровень полезного сигнала - 74 дБ относительно уровня несущей (1 мВт)) или $144 - 74 = -70$ дБ/мВт относительно шумов в идеальном случае, $86 - 70 = 16$ дБ для важного на практике случая. Тогда расчетное значение размера дефекта (его объема) можно вычислить, зная площадь поверхности объекта исследования S_0 при неизменной мощности вспомогательного ультразвукового сигнала (2-3 Вт/см²). При расчете следует

уменьшить S_0 на 64 дБ (1585 раз) по причине малого изменения поверхностной проводимости (-64 дБ/мВт вместо 0дБ/мВт). Уровень изменения значения поверхностной проводимости составит 16дБ +6 дБ=22дБ, что соответствует превышению уровня полезного сигнала над шумами 86-22= 64 дБ/мВт.

Итак, расчетная площадь поверхности $S_1=S_0/1585$. Виртуальный объект, имеющий такую площадь, изменил бы свою проводимость на 100%, или объем виртуального дефекта должен иметь размер предполагаемого ребра дефектной зоны меньше ребра R , от объема с поверхностью S_1 в степени $2/3$.

$$R = \sqrt[3]{(S_0/1585)/6}.$$

Для рассматриваемого случая с поверхностью $S_0= 60000 \text{ мм}^2$, получаем размер дефектной зоны, соответствующий объему куба с ребром $R=2,5 \text{ мм}$.

Практические измерения дефектов, полученные при испытаниях новым прибором указывают, что размеры обнаруживаемого дефекта при разрушении стальной пластины толщиной 3-4 мм, длиной 500 мм, шириной 75 мм (объем образца 112500-150000 мм³) не превышают 3000x0,10x0,10 (30кубических микрон) и 4000x0,10x0,10 (сорок кубических микрон) при величине полезного сигнала, превышающего уровень шумов на 12 и 15 дБ.

Заключение

Выполненные исследования не имеют строгого теоретического обоснования и могут рассматриваться как гипотеза. Они только указывают путь проведения экспериментальных исследований по определению размеров дефектов, выявленных новым дефектоскопом.

Измеренные экспериментально значения дефектов имеют удовлетворительное совпадение с расчетными. Для более близкого совпадения теоретических и практических результатов требуются дополнительные эксперименты с оптимизацией мощности и частоты вспомогательного ультразвукового генератора.

Литература:

1. Отчет по НИОКР «Разработка, исследование, испытания дистанционных индикаторов активных дефектов (ДИАД) на образцах и железнодорожных колесах в статическом режиме», государственный контракт №7901р/11410 от 15.04.2010. № гос. регистрации 01201058172, 52 с.
2. Горбунов В.И., Суторихин В.А. Возможность дефектоскопии металлических деталей СВЧ полем, /Техническая акустика,-2010,- Т. 10, с. 16.
3. Капранов Б.И., Суторихин В.А., Теоретические ограничения по измерению сигналов акустической эмиссии радаром Доплера. NORWEGIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL SCIENCE, - 2017 . p.23-26
4. Горбунов В.И., Суторихин В.А., и др. Бесконтактный преобразователь акустической эмиссии./ Ред. журнала " Известия ВУЗов".- Томск 1995.- Деп. в ВИНТИ 26.06.95 №1868-Б95.
5. Суторихин В.А. Использование анализаторов спектра и микроволнового сенсора для определения усталостных трещин / Материалы Всероссийской научной Интернет-конференции с международным участием «Спектрометрические методы анализа». Казань, 2013. С. 106-118.

УДК 514.18

Визуализация и графическое отображение разверток пересекающихся поверхностей для решения задач по начертательной геометрии студентами технических вузов

Фёдорова Елена Сергеевна, ст. преподаватель
Гасанбеков Камиль Ниязович, студент 2-го курса
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Данная статья посвящена проблемам создания благоприятной информационно-образовательной среды для повышения эффективности обучения графическим дисциплинам и организации самостоятельной работы студентов. Эта работа создана, как электронная коллекция по дисциплине «Начертательная геометрия» и направлена в помощь студентам при выполнении домашнего задания по теме: «Развертки пересекающихся поверхностей». Особое внимание уделено некоторым частным случаям пересечения поверхностей и их разверток, обобщается практический опыт использования развёрток поверхностей, приведены способы построения разверток поверхностей пересечения и примеры задач по данной теме, выполнены чертежи и трёхмерные модели. Электронные модели созданы в пакете Inventor 2018, путем преобразования обычной поверхности в документ листового металла, далее с помощью команды «Создать развертку» получали развертывание поверхности. Работа является дополнительной информационной поддержкой по дисциплине «Начертательная геометрия». Визуализация учебного материала:

1. дает возможность повысить эффективность процесса обучения;
2. помогает студенту наглядно представить реальное изображение объектов;
3. развивает пространственное воображение.

Ключевые слова: начертательная геометрия, визуализация, поверхность, пересечение, развертки, проекция, характерные точки.

Построению разверток представляют собой важную техническую задачу, так как на практике применяется большое количество разнообразных конструкций, которые изготавливают из листового материала путем изгибания: трубопроводы, резервуары в газовой и нефтехимической промышленности, изделия швейной и кожевенной промышленности, обшивки самолетов и судов. Одним из этапов проектирования таких изделий является построение разверток [1, с. 135].

Разверткой поверхности называется плоская фигура, полученная в результате совмещения этой поверхности с плоскостью.

При построении разверток пересекающихся поверхностей необходимо соблюдать следующую последовательность:

1. Построить поверхности и их линии пересечения
2. Определить линию, по которой будет сгибаться или разгибаться поверхность
3. Проанализировать вид развертки: точные — для многогранников; приближенные — для разворачиваемых кривых поверхностей; условные — для неразворачиваемых поверхностей

Признаком разворачиваемости на плоскость обладают линейчатые поверхности трех видов: цилиндрические, конические и торсовые. Для этих поверхностей строят приближенные развертки, то есть развертку аппроксимируют вписанными или описанными многогранными поверхностями.

Все остальные поверхности теоретически не разворачиваются на плоскость. Для таких поверхностей строят условные развертки.

Основные свойства развёрток:

1. Длины соответствующих линий на поверхности и на развёртке равны $l=l_0$.
2. Площадь, ограниченная некоторой линией l на поверхности, равна площади, ограниченной соответствующей ей линией l_0 на развёртке.
3. Угол между линиями на поверхности равен углу между соответствующими линиями на развёртке.
4. Прямой линии на поверхности соответствует прямая линия на развёртке.
5. Параллельным прямым линиям на поверхности соответствуют параллельные прямые линии на развёртке.
6. Кратчайшей линии, соединяющей 2 точки на поверхности (геодезической линии), соответствует прямая линия на развёртке [2, с. 121] [5, с. 150].

При построении разверток пересекающихся поверхностей необходимо соблюдать следующую последовательность:

1. Построить поверхности и их линии пересечения.
2. Определить линию, по которой будет сгибаться или разгибаться поверхность.
3. Проанализировать вид развертки: точные — для многогранников; приближенные — для разворачиваемых кривых поверхностей; условные — для неразворачиваемых поверхностей. [1, с. 142].

Рассмотрим на примерах, какие возможны развёртки при пересечении поверхностей. Все модели и развёртки были построены с помощью пакета САПР Autodesk Inventor.

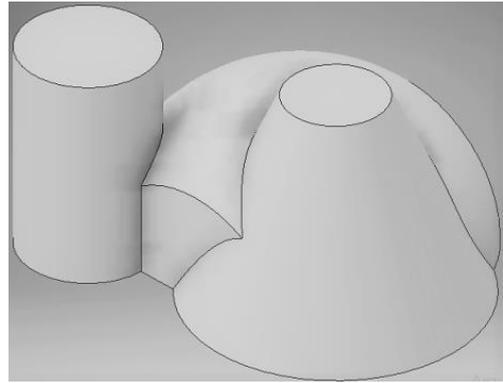
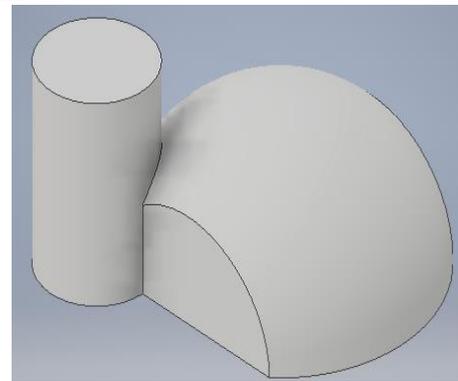


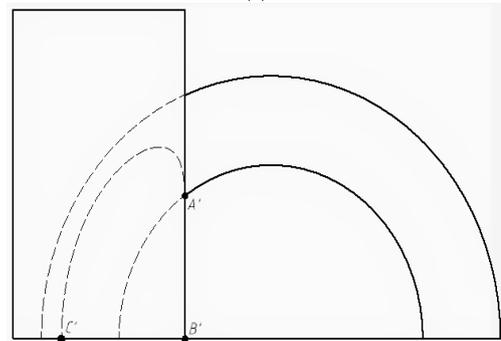
Рис. 1. Полусфера пересекается прямым цилиндром и прямым усечённым конусом

I пример. Полусфера пересекается прямым цилиндром и прямым усечённым конусом.

В данном примере две поверхности относятся к развёртываемым поверхностям: прямой цилиндр и усечённый конус. Сфера же является неразвёртываемой поверхностью.



Модель



Эпюр

Рис. 2. Пересечение прямого цилиндра с полусферой.

Для построения развёртки поверхности пересечения необходимо уметь строить проекции линии пересечения, определить опорные точки, определить тип поверхности. Студент должен владеть хорошим пространственным воображением, чтобы понимать, что из себя будет представлять поверхность пересечения и её развёртка [3, с. 21] [4, с. 27].

В данном случае на фронтальной проекции получаем, что цилиндр пересекает сферу по $A'B'C'$. Точки A' , B' , C' в развёртке использованы для удобного восприятия линии пересечения. Однако, они могут быть использованы и для построения чертежа развёртки на бумаге.

II пример. Прямой конус пересекается треугольной призмой и прямым конусом, ось которого составляет угол α с основанием 1-го конуса.

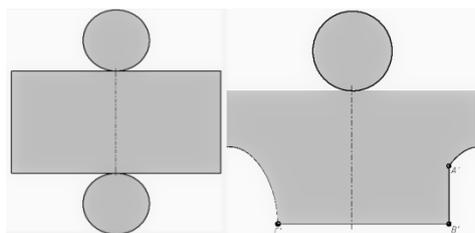


Рис. 3. Развёртка: а) цилиндр; б) цилиндр при пересечении с полусферой.

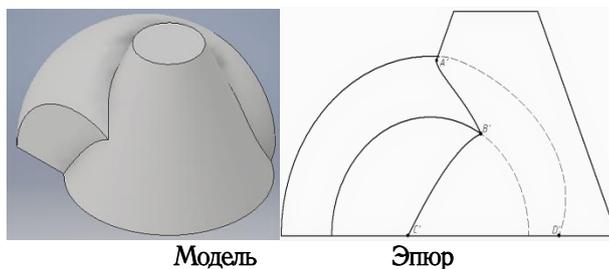


Рис. 4. Пересечение прямого усечённого конуса с полусферой.

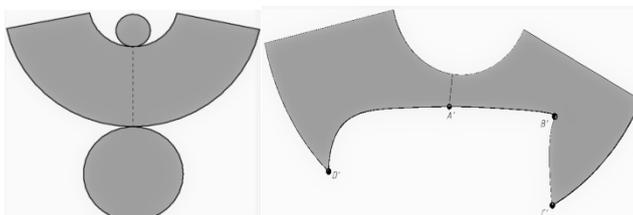


Рис. 5. Развёртка: а) прямого усечённого конуса; б) прямого усечённого конуса при пересечении с полусферой.

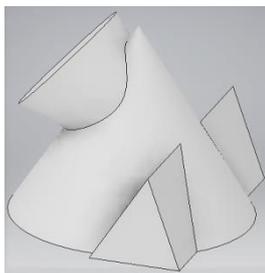


Рис. 6. Прямой конус пересекается прямой треугольной призмой и прямым конусом, ось которого составляет угол α с основанием 1-го конуса.

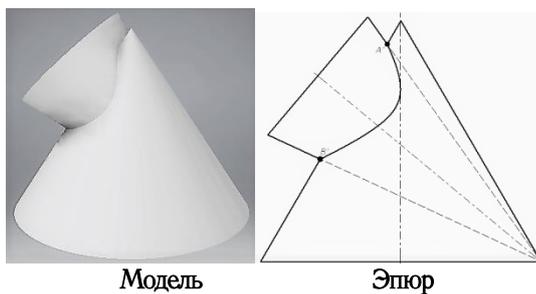


Рис. 7. Пересечение прямого конуса с прямым конусом, ось которого составляет угол α с основанием 1-го конуса.

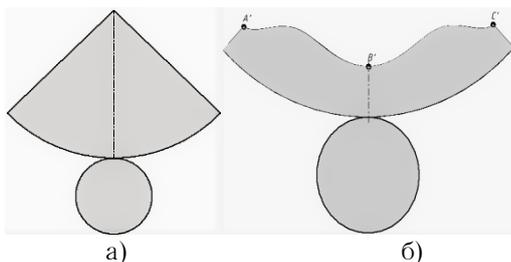


Рис. 8. Развёртка:
а) прямого конуса; б) прямого конуса, ось которого составляет угол α с основанием другого конуса.

Заклучение.

Использование электронных средств для визуализации учебного материала обеспечивает более быстрое понимание

теории начертательной геометрии и эффективное усвоение предмета.

Литература:

1. Жирных Б.Г., Серегин В.И., Шарикян Ю.Э. Начертательная геометрия: учебник. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 163 с.
2. Нартова Л.Г., Якунин В.И. Начертательная геометрия: учебник. М.: Дрофа, 2003. 208 с.
3. Прокофьева И.В., Тарасов В.В., Демидов С.Г. Построение линий перехода: метод. указания. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 42 с.
4. Сенченкова Л.С., Жирных Б.Г. Основные правила выполнения изображений изделий: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 46 с.
5. Фролов С.А. Начертательная геометрия: учебник. М.: ИНФРА-М, 2015. 240 с.

Разработка системы оценки освещенности для «умного дома»

Юшков Евгений Сергеевич, студент
Шаршин Дмитрий Николаевич, преподаватель
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментов по косвенному измерению среднего значения освещенности в помещении, дано описание оценки среднего, выполнен расчет погрешностей оценки среднего по результатам выборочных измерений освещенности.

Цель работы: разработка системы оценки среднего значения освещенности в помещении.

Основные задачи работы: формирование регрессионной модели освещенности в помещении и ее исследование.

Ключевые слова: контроль освещенности, умный дом.

Технология «умный дом» — это автоматизированная интеллектуальная система для управления помещением. «На сегодняшний день разработка системы управления умным домом является одним из приоритетных направлений развития автоматизированных систем» [3, с. 1].

Такие системы призваны обеспечивать комфорт для всех пользователей, а также, что немаловажно, экономить их ресурсы и финансы «за счет снижения потребляемых ресурсов» [2, с. 1].

Для построения математической модели объекта проектирования необходимо провести эксперимент освещенности помещения. Для этого используются рекомендации ГОСТ 24940–2016 «Здания и сооружения, методы измерения освещенности». Следуя рекомендациям данного стандарта, проводят подготовку к измерениям, сами измерения и обработку результатов.

Планирование экспериментов. Для измерения освещенности на рабочей поверхности, необходимо создать сетку с контрольными точками, в которых и будут производиться измерения. Пример схемы расположения контрольных точек для проведения измерений, соответствующих рекомендации ГОСТ 24940–2016, представлен на рисунке 1. Высота положения датчика от уровня пола равна высоте рабочей поверхности в помещении. Чувствительные элементы датчиков направлены в сторону светового потока.

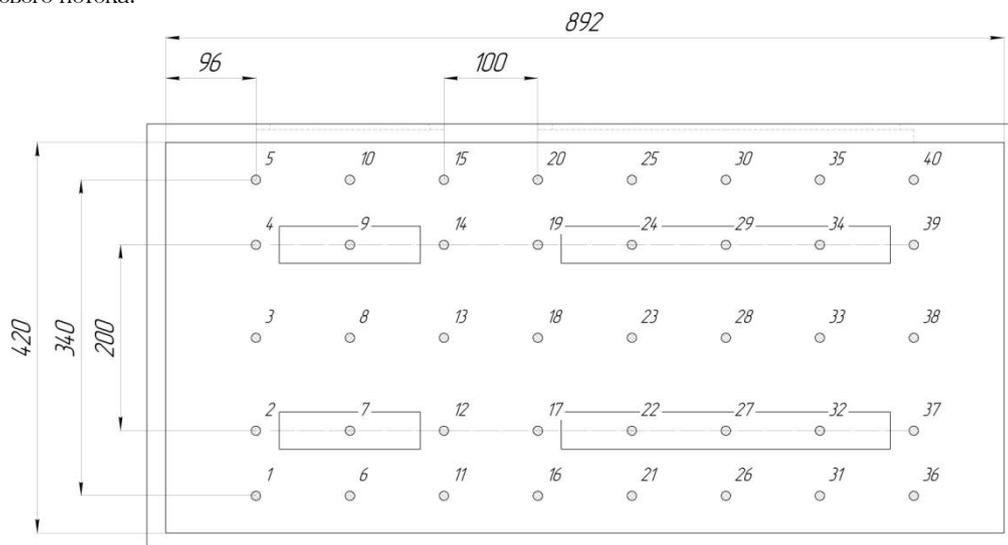


Рис. 1. Расположение контрольных точек

На рисунке 1 прямоугольниками показаны светодиодные излучатели; круги обозначают контрольные точки.

Проведя замеры согласно указанным контрольным точкам, составляются таблицы измерений.

Алгоритм выбора количества датчиков. Положение датчиков выбирается по их ближайшей к среднему значению освещенности. Используя данный алгоритм, рассчитываются погрешности при увеличении количества датчиков.

1. Использование одного датчика освещенности.

Далее приведены расчеты средней освещенности и ее погрешностей в помещении после выбора наиболее подходящей контрольной точки. Номер контрольной точки – 3 на рис.1.

«Среднюю освещенность в помещении $E_{\text{ср}}$, лк, вычисляют как среднеарифметическое значение измеренных освещенностей в контрольных точках помещения по формуле:

$$E_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i, \quad (1)$$

где N – число точек измерения; E_i – измеренные значения освещенности в контрольных точках помещения, лк» [1, с. 5]

Средняя естественная освещенность в пасмурный день рассчитывается согласно (1):

$$E_{\text{ср1}} = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{40} E_i = 674.80 \text{ лк}$$

Показания освещенности в точке 3 составляет 603 лк.

Абсолютная погрешность Δ_1 для датчика, значение которого наиболее близко к среднему:

$$\Delta_1 = |E_{\text{ср1}} - E_{\text{изм1}}| = 71.80 \text{ лк}$$

Относительная погрешность для данного датчика δ_1 :

$$\delta_1 = \frac{|E_{\text{ср1}} - E_{\text{изм1}}|}{E_{\text{ср1}}} \cdot 100\% = 10.64 \%$$

Средняя комбинированная освещенность в пасмурный день равна $E_{\text{ср2}} = 769$ лк, показания в точке 3 составляет 700 лк. Абсолютная и относительная погрешности в данных условиях:

$$\Delta_2 = |E_{\text{ср2}} - E_{\text{изм2}}| = 69 \text{ лк}$$

$$\delta_2 = \frac{|E_{\text{ср2}} - E_{\text{изм2}}|}{E_{\text{ср2}}} \cdot 100\% = 8.97 \%$$

Средняя естественная освещенность в яркий день: $E_{\text{ср3}} = 853.90$ лк, показания в точке 3 составляет 765 лк. Погрешности равны:

$$\Delta_3 = |E_{\text{ср3}} - E_{\text{изм3}}| = 88.90 \text{ лк}$$

$$\delta_3 = \frac{|E_{\text{ср3}} - E_{\text{изм3}}|}{E_{\text{ср3}}} \cdot 100\% = 10.41 \%$$

Средняя комбинированная освещенность в яркий день: $E_{\text{ср4}} = 1833.50$ лк, показания в точке 3: 1550 лк. Значения погрешностей в данном случае:

$$\Delta_4 = |E_{\text{ср4}} - E_{\text{изм4}}| = 283.50 \text{ лк}$$

$$\delta_4 = \frac{|E_{\text{ср4}} - E_{\text{изм4}}|}{E_{\text{ср4}}} \cdot 100\% = 15.46 \%$$

2. Использование двух датчиков освещенности. Номера контрольных точек в данном случае – 3 и 16 на рис. 1. Средняя освещенность соответствует значениям из предыдущего пункта. Получившиеся значения погрешностей сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Погрешности при двух датчиках

	Пасмурная погода		Ясная погода	
	Естественное освещение	Комбинированное освещение	Естественное освещение	Комбинированное освещение
Δ , лк	48	47	73.9	100.5
δ , %	7.23	9.62	8.65	5.48

3. Использование трех датчиков освещенности.

Номера контрольных точек в данном случае обозначены цифрами 3, 16 и 38 на рис. 1. Рассчитанные значения погрешностей представлены в таблице 2.

Таблица 2. Погрешности при трех датчиках

	Пасмурная погода		Ясная погода	
	Естественное освещение	Комбинированное освещение	Естественное освещение	Комбинированное освещение
Δ , лк	14.13	52.33	43.90	15.83
δ , %	2.09	6.80	5.14	0.86

4. Использование четырех датчиков освещенности.

Номера контрольных точек в данном случае обозначены цифрами 3, 16, 38 и 25 на рис. 1. Рассчитанные значения погрешностей – таблица 3.

Таблица 3. Погрешности при четырех датчиках

	Пасмурная погода		Ясная погода	
	Естественное освещение	Комбинированное освещение	Естественное освещение	Комбинированное освещение
Δ , лк	11.8	11.5	11.4	8
δ , %	1.75	1.49	1.34	0.43

Из вычисленных значений погрешности, можно сделать вывод, что при увеличении количества датчиков освещенности, погрешности уменьшаются. Согласно рекомендациям ГОСТ 24940–2016, погрешность измерений освещенности составляет $\pm 10\%$, следовательно, использовать один датчик нельзя из-за высокой погрешности: $\delta_{max} = 15.46\%$. Контроль одним датчиком не позволяет зафиксировать включение/выключение удаленных искусственных источников света. При использовании двух датчиков, максимальная погрешность приближается к границе в 10% и составляет 9.62% . Для трех датчиков освещенности максимальная погрешность равна 6.80% , при этом минимальная составляет 0.86% . Данные значения показывают, что трех датчиков достаточно для получения достоверной информации. Однако, при четырех датчиках, погрешности значительно уменьшаются и приближаются к 1% .

Регрессионная модель

Система с тремя датчиками. Для расчета среднего значения освещенности по помещению сформирована система уравнений, на основе натурных испытаний:

$$\begin{cases} a_1 \cdot x_{11} + a_2 \cdot x_{12} + a_3 \cdot x_{13} = E_1 \\ a_1 \cdot x_{21} + a_2 \cdot x_{22} + a_3 \cdot x_{23} = E_2 \\ a_1 \cdot x_{31} + a_2 \cdot x_{32} + a_3 \cdot x_{33} = E_3 \end{cases} \quad (2)$$

где a_i – численные безразмерные коэффициенты, $i=1,2,3$; $x_{11} \dots x_{33}$ – экспериментальные значения освещенности; $E_{1,2,3}$ – среднее значение освещенности опытов 1, 2, 3, соответственно.

Далее идет нахождение значений $a_{1,2,3}$ и расчетной средней освещенности. Расчетная средняя освещенность $E_{расчетн1}$ находится по формуле:

$$E_{расчетн1} = a_1 \cdot x_{11} + a_2 \cdot x_{12} + a_3 \cdot x_{13} \quad (3)$$

Для оценки правильности полученных значений, рассчитываются абсолютная и относительная погрешности.

Абсолютная погрешность Δ_1 :

$$\Delta_1 = |E_1 - E_{расчетн1}|$$

Относительная погрешность δ_1 :

$$\delta_1 = \frac{|E_1 - E_{расчетн1}|}{E_1} \cdot 100\%$$

Данная процедура проводится для всех уравнений входящих в систему 1.

Для наглядности, строится график вхождения в эквидистанты погрешности измерений датчика. Пример такого графика приведен на рисунке 2.

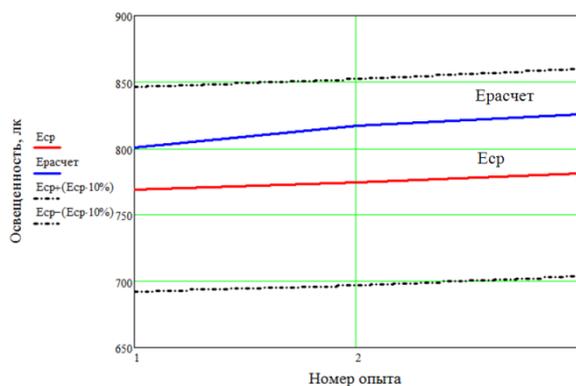


Рис. 2. Диапазон погрешности

На графике освещенности построен коридор с допустимыми отклонениями $\pm 10\%$ относительно графика среднего значения, построенного по методике вычисления среднего значения освещенности по ГОСТ 24940-2016. На этом же графике представлена зависимость среднего значения освещенности, вычисленная по показаниям от трех датчиков по регрессионной модели (3). По данному графику видно, что расчетное среднее значение освещенности входит в диапазон допустимой погрешности измерения.

Литература:

- ГОСТ 24940-2016 – Здания и сооружения Методы измерения освещенности. – Изд-во Стандартинформ, 2016.– 20 с.
- Тихонова Ю.С. Энергосбережение в умном доме. СПб: «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2014. – 3 с.
- Хожиева М.С. Исследование методов автоматического управления: Инновации в строительстве глазами молодых специалистов. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2014 – 4 с.

АРХИТЕКТУРА

Практический опыт развития прибрежных территорий

Мацкевич Дамир Романович, студент
Уральский Государственный Архитектурно-художественный университет

Аннотация. Для определения роли приречных территорий в городе, можно обратиться к утверждению А. Шаталова: «Река в пределах одного города — это гораздо меньше всей реки от её истоков до устья. Но река в городе — это больше, чем просто река»

Действительно, исторически сложилось так, что большинство городов имели свое начало и дальнейшее формирование по берегам рек. Поэтому неотъемлемой частью их градостроительной структуры являются прибрежные территории.

Ключевые слова: прибрежная территория, ландшафт, рекреация, пространства, рельеф.

Прибрежные территории — это рекреационные ландшафты, замкнутые транспортными коммуникациями, застройкой и рекой, заключающие в себе ценные природные и эстетические ресурсы, требующие особого подхода при проектировании благоустройства и озеленения. Это особо ценные участки в следующих аспектах градостроительства: функционально-планировочном, рекреационном и ландшафтно-композиционном. Приречные территории несут общегородскую нагрузку и выступают как планировочные элементы городского каркаса, так и как резервы общественных рекреационных пространств.

Так как, приречные территории — не до конца освоенная область градостроительства и до сих пор не существует четко сформулированного, отражающего содержание и закрепленного документально понятия приречных территорий, в данной работе, под приречной территорией предлагается понимать городскую территорию, прилегающую к реке и являющуюся буфером между природным и антропогенным каркасом города. Определение границ приречной территории осуществляется путем анализа исходной ситуации: по антропогенным элементам, границам городского каркаса и по природным точкам рельефа.

По мере развития крупных городов и, связанного с их ростом, заметного ухудшения состояния окружающей среды, осознание человеком экологических приоритетов становится все более необходимым. В результате динамичного процесса урбанизации и не всегда рационального использования природных ресурсов, у многих городов возникают проблемы связанные с нарушением экологии приречных территорий. Высокая концентрация различных видов человеческой деятельности, создала ряд безусловных преимуществ, но привела, тем не менее, к нарушению оптимального баланса между естественными и искусственными компонентами городской среды.

Приречные территории — одни из перспективных урболандшафтов. Создавая интегрированную ландшафтно-градостроительную систему в приречных территориях, мы можем прогнозировать стабилизацию экологической обстановки в городе, а также решить проблему обеспечения комфортной и экологически безопасной среды для всех слоев населения города.

Наиболее востребовано рекреационное назначение пойменных территорий малых рек и из возможных функций: прогулочная, рекреационная, транспортная, причальная набережная, для малых рек возможны прогулочные и

рекреационные. Сочетание этих функций прибрежных территорий со смысловым и культурно-историческим наполнением пространства делает их востребованными в городской жизни, узнаваемыми, соответственно, реки становятся важной частью образа города.

Понятие окружающей природной среды и его соотношение с другими сходными терминами «природная среда», «окружающая среда», «природа» показывает, что в целом производные термины идентичны и заключают в себе основные объекты, в их общем понимании: земля, воды, атмосферный воздух (атмосфера). Также к ним относятся леса, экологические системы, недра земли, животный мир и т.д. Таким образом, термин «окружающая природная среда» предполагает, что человек, погружен в природу как в среду своего обитания, куда помимо естественных объектов, входят и созданные людьми природные объекты.

Эффективность этого естественного источника обеспечивают организационные, правовые, экономические, воспитательные меры, направленные на обеспечение ее должного качества, сохранения благоприятности окружающей природной среды. В этой связи, взаимоотношения человека и общества с окружающей природной средой заслуживают самого пристального внимания.

Алгоритмы стратегического планирования, предлагаемые и апробируемые отечественными исследователями, представляют собой адаптированные варианты схем, предлагаемых зарубежными специалистами, и, безусловно, также приближены к схеме принятия общих управленческих решений.

В частности, Н.С. Краснощекова утверждает, что, в рамках формирования природного каркаса, складывается взаимосвязанная система дифференцированных показателей правового регулирования градостроительной и хозяйственной деятельности для составляющих структурных элементов на разных территориальных уровнях.

Согласно ее исследованиям, принципиальным, на этапе их разработки, является деление регламентов на обеспеченные правовыми актами и разрабатываемые в рамках специальных проектов. Н.С. Краснощекова выделяет следующие методологические подходы к выработке регламентов регулирования градостроительной деятельности на территории природного каркаса:

— первостепенный учет правовых требований и регламентаций согласно установленным на федеральном

уровне для особо охраняемых территорий, земель лесного фонда водного фонда и т.д.

– разработка градостроительных регламентов в соответствии с законодательством РФ для 1. зон с особыми условиями использования территорий (такие как водоохранные зоны, зоны охраны источников водоснабжения, санитарно-защитные зоны), а также 2. В составе проектов с использованием схемы планировочных ограничений развития застройки. (границы устанавливаются муниципальном уровне в составе документа Правила землепользования и застройки)

Сейчас регулирование развитием приречных территорий отдано и такому документу как «Стратегия территориального планирования», который содержит в себе ана-

лиз ряда документов, определяющих особенности осуществления градостроительной деятельности.

К числу таких документов относятся:

- правила землепользования и застройки;
- нормативы градостроительного проектирования;
- градостроительный регламент;
- и другие.

Рассматривая отечественный опыт в стратегическом планировании приречных территорий, таких городов как Пермь, Минск, Санкт-Петербург, Москва, можно сделать вывод, что на данный момент Россия находится на пути улучшения экологической ситуации, создавая документы, регулирующие как социальное, так и эколого-градостроительные вопросы территорий.

Литература:

1. Чумаченко С.Г. Стратегия озеленения урбандолифа крупного города: сущность, структура, механизм разработки и реализации // Инженерный вестник дона. – 2010. – т. 13, № 3. – с. 129-139
2. Малахов С.А. Кризис среды как основание для выдвижения концепции композиционного метода проектирования // Градостроительство и архитектура. – 2016. - № 1. – с. 80-84
3. Бармин А.Н., Никулина Е.М. Роль ландшафтно-географического подхода в построении экологического каркаса городов // Геология, география и глобальная энергия. – 2011. - №4. – с 168-174
4. Потапов А.Д., Сенюцинка И.М., Новикова О.О., Гудкова Е.А. Проблема использования городских нарушенных территорий // Вестник мгеу. – 2012. - №9. – с. 197-202

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

Общая характеристика внешнеэкономических связей Северо-Кавказского федерального округа

Романович Дарья Юрьевна;
Романович Иван Юрьевич
г. Курск

Северный Кавказ имеет выгодное экономико-географическое положение. Это проявляется в следующем.

Во-первых, он имеет выход к Каспийскому морю, по которому осуществляются межрайонные и международные хозяйственные связи. Выход территории Северо-Кавказского федерального округа к морю не только влияет на размещение и специализацию хозяйства данной территории, но и обеспечивает внешнеэкономические связи Российской Федерации со странами Закавказья, Ближнего и Среднего Востока.

Во-вторых, СКФО граничит с бывшими республиками СССР - странами Ближнего зарубежья - Грузией, Азербайджаном. Тесные хозяйственные, этнические и инфраструктурные связи с этими странами усиливают стратегическое и экономическое значение данного района для всей России. В-третьих, выгодность положения Северного Кавказа проявляется в том, что на территории района проходят важнейшие железнодорожные, автомобильные и трубопроводные магистрали, связывающие Россию со странами Закавказья.

Благодаря своему выгодному положению, округ имеет стабильные рынки сбыта. В товарной структуре экспорта СКФО ведущие позиции занимает продукция химического

комплекса (58,7%), что объясняется функционированием на территории Ставропольского края нескольких крупных предприятий химической промышленности (минеральные удобрения в Невинномыске, оргсинтез в Будённовске). В основе экспорта - удобрения, органические химические соединения, экстракты красильные и дубильные, пластмассы и изделия из них и т.д. Главные потребители химической продукции - США, Турция, Бразилия, Украина.

Доля продовольственных товаров и сельхозсырья в структуре экспорта снизилась. Еще одна позиция в экспорте за машиностроительной продукцией, доля которой выросла. В основе экспорта машиностроительной продукции были оптические и измерительные приборы и инструменты. Наибольшие стоимостные объемы поставок продукции пришлось на Республику Корея (23,2%), Иран (23%), Тайвань (17,9%), Украину (11,5%). Следует отметить, что около 19% стоимостных объемов экспорта машиностроительной продукции приходится на торговлю с Казахстаном, но в связи с созданием Таможенного союза, с 1 июля 2010 года торговля с Казахстаном относится к сегменту взаимной торговли и не учитывается в статистике внешней торговли.

Таблица 1. Экспорт в 2017 году (по данным Федеральной таможенной службы) по состоянию на 13 марта 2018г.

	Всего		в том числе			
	млн. долларов США	2017г. в % к 2016г.	со странами дальнего зарубежья		с государствами- участниками СНГ	
			млн. долларов США	2017г. в % к 2016г.	млн. долларов США	2017г. в % к 2016г.
Российская Федерация	357767	125,2	309687	124,9	48079	127,1
Северо-Кавказский федеральный округ	1160,6	118,2	716,6	113,2	444,0	127,1
Республика Дагестан	55,2	116,7	15,6	95,7	39,6	127,7
Республика Ингушетия	3,6	в 3,0р.	3,1	в 5,2р.	0,5	85,8
Кабардино-Балкарская Республика	23,4	91,1	8,9	54,4	14,4	156,5
Карачаево-Черкесская Республика	16,5	102,3	8,1	96,3	8,4	108,8
Республика Северная Осетия – Алания	59,9	101,5	42,1	93,6	17,7	126,7
Чеченская Республика	1,8	186,6	1,4	в 5,4р.	0,5	65,0
Ставропольский край	1000,2	120,2	637,4	116,8	362,8	126,8

Наиболее существенную долю в экспорте Северо-Кавказского федерального округа в денежном выражении занимает продукция топливно-энергетического комплекса.

Экономическая специализация субъектов округа определила наличие в структуре импортных поставок технологического оборудования и комплектующих для автомобильной промышленности (Карачаево-Черкесская республика), технологического оборудования для химической промышленности (Ставропольский край), для пищевой промышленности (Республика Северная Осетия), оборудо-

вания для мукомольной промышленности (Республика Кабардино-Балкария), сельскохозяйственной техники и запасных частей к ней (Ставропольский край, Республика Кабардино-Балкария), оборудования для цементной промышленности (Карачаево-Черкесская Республика), различного оборудования для агропромышленного комплекса (Ставропольский край, Республика Кабардино-Балкария, Республика Северная Осетия).

Основные продукты ввоза - прокат черных металлов, некоторые виды минеральных удобрений, деловая древе-

сина и пиломатериалы, автомобили, тракторы, а в последнее время нефть [1]

Более 7,6% в импорте СКФО приходится на товары, отнесенные к категории «прочих», на треть представленных

игрушками, почти на треть мебелью, на 15% - керамическими изделиями, на 10% - изделиями из стекла, на 7% - изделиями из камня, гипса и др.

Таблица 2. Импорт в 2017 году (по данным Федеральной таможенной службы) по состоянию на 13 марта 2018г.

	Всего		В том числе			
	млн. долларов США	2017г. в % к 2016г.	со странами дальнего зарубежья		с государствами-участниками СНГ	
			млн. долларов США	2017г. в % к 2016г.	млн. долларов США	2017г. в % к 2016г.
Российская Федерация ²⁾	227464	124,7	202608	124,5	24856	126,7
Северо-Кавказский федеральный округ	1128,0	111,3	904,4	116,3	223,6	94,9
Республика Дагестан	154,8	74,5	103,7	100,8	51,1	48,8
Республика Ингушетия	9,1	50,8	8,9	50,1	0,2	128,2
Кабардино-Балкарская Республика	70,2	142,3	60,7	150,1	9,5	106,7
Карачаево-Черкесская Республика	158,1	128,1	149,3	131,2	8,8	91,4
Республика Северная Осетия – Алания	32,8	72,5	28,3	66,7	4,5	158,0
Чеченская Республика	44,2	118,9	43,1	116,4	1,1	в 8,2р.
Ставропольский край	658,8	123,7	510,4	120,6	148,4	135,9

Основными поставщиками этих товаров выступали Китай (64,7%), Украина (12,7%) и Италия (4,3%). Получа-

телями выступали преимущественно участники ВЭД Ставропольского края и Республики Дагестан [2]

Млн. долларов США

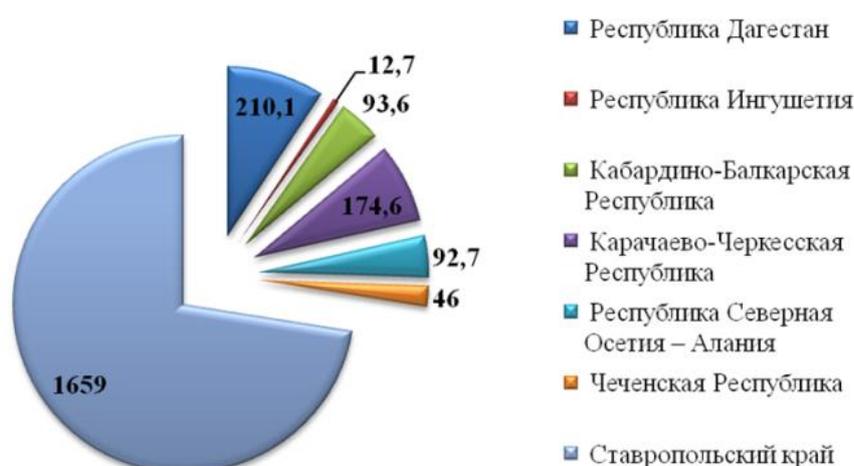


Рис. 1. Внешнеторговый оборот СКФО в 2017 году

Около 70% продукции, экспортируемой из Северо-Кавказского федерального округа, направляется в страны дальнего зарубежья. Более всего на данную группу стран ориентирован экспорт из Республики Ингушетия, Республики Дагестан, Ставропольского края и Республики Северная Осетия - Алания. Экспорт Чеченской Республики и Карачаево-Черкесской Республики ориентирован на государства - участники СНГ.

Наиболее значимы экспортные потоки в Ставропольском крае - отношение экспорта к валовому региональному продукту составляет 10,7%. В среднем по Северо-Кавказскому федеральному округу данный показатель

составляет 5,7%, в остальных регионах, кроме Ставропольского края, отношение экспорта к валовому региональному продукту составляет менее 5%. Наименее значим экспорт в экономике Кабардино-Балкарской Республики и Чеченской Республики.

Для Северо-Кавказского ФО характерна низкая конкурентоспособность производимой продукции [3].

Таким образом, внешнеэкономическая деятельность создает условия для дальнейшего развития хозяйства региона, его активного участия в разделении труда и повышения конкурентоспособности.

Литература:

1. Багдасарян В.Э. Название источника: Кавказ и большая геополитика. М.: Научный эксперт, 2010. — с. 92-96
2. Федеральная служба государственной статистики. Социально-экономическое положение Северо-Кавказского федерального округа в 2017 году. М.: Росстат, 2018. — 66 с.
3. Федеральная таможенная служба. URL: <http://www.customs.ru/index.php>, дата обращения (8.04.2018 г.)