

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калужский филиал МГТУ имени Н. Э. Баумана»

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ

**Материалы
Всероссийской научно-технической конференции**

Том 2



УДК 378:001.891
ББК 74.58:72
НЗ4

Руководители конференции

А. В. Царьков (директор КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана);
А. А. Столяров (зам. директора по научной работе)

Оргкомитет конференции

А. А. Столяров (председатель оргкомитета);
В. В. Лебедев (ученый секретарь);
Е. Н. Малышев; Г. В. Орлик; Н. Е. Шубин; А. А. Жинов; Ю. П. Корнюшин;
А. И. Пономарев; А. К. Рамазанов; А. А. Анкудинов; Б. М. Логинов;
В. Г. Косушкин; В. В. Андреев; А. В. Мазин; А. А. Шубин; А. К. Горбунов;
А. В. Максимов; В. Н. Пащенко; М. В. Астахов; Е. Н. Сломинская;
О. Л. Перерва; Г. И. Ловецкий; А. Ю. Красноглазов; В. М. Алакин

НЗ4 **Научные** технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 24–26 ноября 2015 г. Т. 2. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 220 с.

В сборнике материалов Всероссийской научно-технической конференции представлены результаты научных исследований, выполненных учеными в течение ряда лет. Систематизированы материалы различных научных школ. Результатами научных исследований являются новые методы, вносящие вклад в развитие теории, а также прикладные задачи, воплощенные в конструкции и материалы.

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72

© Коллектив авторов, 2015
© Калужский филиал МГТУ
им. Н. Э. Баумана
© Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2015

СЕКЦИЯ 5.

КЛАССИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ

Со Нэй Лин Аунг, Тин Зар Аунг, Д.А. Акименко

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Данная работа посвящена определению числовых значений электрогидравлического следящего привода по результатам натурных испытаний. В современных системах управления электрогидравлические приводы нашли широкое применение в качестве исполнительных устройств, которые непосредственно воздействуют на объект управления, поскольку обладают рядом преимуществ по сравнению с другими исполнительными приводами. Поэтому актуальной задачей является построения адекватной реальному приводу математической модели, что в большинстве случаев является сложной.

В ходе построения математической модели электрогидравлического следящего привода (в качестве объекта рассматривалась рулевая машинка) и выполнения структурных преобразований получена следующая система уравнений

$$\begin{cases} \frac{d^6}{dt^6} x(t) + \sum_{i=0}^5 a_i^n(P) \frac{d^i}{dt^i} x(t) = b_0^n(P) \cdot (u(t) - K_{oc} \delta(t)); \\ x_f(t) = F(x(t)); \\ \frac{d^3}{dt^3} \delta(t) + \sum_{i=0}^2 a_i^n(P) \frac{d^i}{dt^i} \delta(t) = b_0^n(P) \cdot x_f(t); \end{cases} \quad (1)$$

где $u(t)$ - напряжение, подаваемое на вход привода; $x(t)$ - перемещение золотника дроссельного распределителя; $\delta(t)$ - угол поворота выходного звена привода; функция $F(\bullet)$ - нелинейный элемент с насыщением, определяющий величину открытия щели золотникового распределителя; P - множество физических параметров привода.

Следует отметить, что все параметры привода можно разделить на две группы: к первой группе можно отнести геометрические размеры; ко второй – физические параметры электрических цепей и рабочей жидкости привода, числовые значения которых чаще всего являются справочными величинами или определяются с погрешностью и зависят от условий при которых производились их измерения (в результате селекции ко второй группе было отнесено 24 параметра математической модели). Поэтому це-

лю стоялось уточнение числовых значений параметров привода, относящихся ко второй группе.

Поскольку известен выходной сигнал, полученный входе проведения эксперимента, то в качестве целевой функции удобно использовать критерий:

$$J(P) = \left[\int_0^T (\delta_{\text{экс}}(t) - \delta_m(t, P))^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Для нахождения значения целевой функции (2) воспользуемся проекционными методами [1]. В этом случае систему уравнений можно переписать в виде

$$\begin{cases} \mathbf{C}^x + \mathbf{A}_x^n(P) \mathbf{C}^x = \mathbf{A}_u^n(P) \cdot (\mathbf{C}^u - K_{oc} \mathbf{C}^\delta); \\ \mathbf{\Phi}^T(t) \mathbf{C}^{x_f} = F(\mathbf{\Phi}^T(t) \mathbf{C}^x); \\ \mathbf{C}^\delta + \mathbf{A}_x^n(P) \mathbf{C}^\delta = \mathbf{A}_u^n(P) \cdot \mathbf{C}^{x_f}. \end{cases} \quad (3)$$

А целевую функцию (2) переписать

$$J(P) = \left[(\mathbf{C}^{\delta_{\text{экс}}} - \mathbf{C}^\delta(P))^T (\mathbf{C}^{\delta_{\text{экс}}} - \mathbf{C}^\delta(P)) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Здесь $\mathbf{\Phi}(t)$ - ортонормированный базис; \mathbf{C}^x , \mathbf{C}^u , \mathbf{C}^δ и \mathbf{C}^{x_f} - спектральные характеристики соответствующих сигналов в выбранном базисе; $\mathbf{A}_x^n(P)$, $\mathbf{A}_u^n(P)$, $\mathbf{A}_x^n(P)$, $\mathbf{A}_u^n(P)$ - матричные операторы соответствующих частей дифференциальных уравнений системы (1).

Для решения нелинейной системы векторно-матричных уравнений (3) относительно \mathbf{C}^δ можно воспользоваться методом последовательных приближений.

Таким образом, задача уточнения числовых значений математической модели привода по экспериментальным данным сводится к минимизации целевой функции (4) с учетом ограничений на искомые параметры. Однако, поскольку число уточняемых параметров модели достаточно велико, то применение классических поисковых алгоритмов связано с некоторыми трудностями, в частности, для нахождения глобального минимума необходимо решать задачу условной оптимизации для различных начальных значений искомых параметров.

Поэтому, для определения глобального минимума критерия (4) можно воспользоваться методом Монте-Карло, который заключается в генерировании случайных значений искомых параметров на множествах их допустимых значений и нахождении значений целевой функции для каждой случайной выборки параметров.

При решении поставленной задачи в качестве базиса выбрана система блочно-импульсных функций с числом элементов равным 128 и при реализации метода Монте-Карло значений целевой функции определялось для 1000 выборок случайных значений искомых параметров. На рис. 1 представлены графики экспериментально полученного выходного сигнала и математической модели для найденных оптимальных значений уточняемых параметров привода.

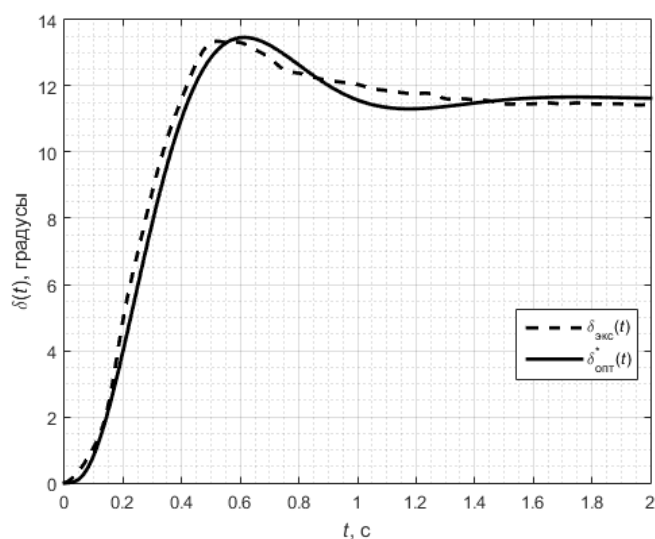


Рис. 1. Графики выходных сигналов

Список литературы

[1]. Лапин С.В., Егупов Н.Д. Теория матричных операторов и ее приложение к задачам автоматического управления. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997. — 496 с.

[2]. Крымов Б.Г., Рабинович Л.В., Стеблецов В.Г. Исполнительные устройства систем управления летательными аппаратами. — М.: Машиностроение, 1987. — 264 с.

Со Нэй Лин Аунг - аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: soenla@gmail.com

Тин Зар Аунг - аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dobaru@gmail.com

Акименко Д.А. – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: akimenko@kaluga.ru

Тин Эй Чжо, Тун Тун Чжо, А.М. Макаренков, З.Г. Широкова

КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА ПРИ РАСЧЕТЕ PID-РЕГУЛЯТОРА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Работа посвящена проблеме повышения точности работы электрогидравлического следящего привода (ЭГСП) с PID-регулятором. Одним из факторов, компенсация которого может улучшить точность отработки заданного входного сигнала ЭГСП, является технологический разброс его параметров. Такой разброс учитывается введением соответствующих случайных параметров в математическую модель ЭГСП. Предлагается метод компенсации данного фактора путем соответствующей оптимизации параметров PID-регулятора, найденных без учета случайности параметров модели ЭГСП.

Рассматривается задача оптимизации параметров PID-регулятора в контуре управления ЭГСП. Данная система описываемой математической моделью следующего вида:

$$a_6 y^{(6)}(t) + a_5 y^{(5)}(t) + a_4 y^{(4)}(t) + a_3 y^{(3)}(t) + a_2 y''(t) + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_2 u''(t) + b_1 u'(t) + b_0 u(t). \quad (1)$$

Требуемые динамические характеристики системы управления задаются функцией эталонного (желаемого) переходного процесса $x_{\text{Э}}(t) = 1 \cdot 10^{-1} (1 - e^{-20t})$, который должен иметь место при подаче на вход системы ступенчатого сигнала $u(t) = 0,01 \cdot H(t)$. Параметры PID-регулятора k_P, k_I, k_D входят в выражения для коэффициентов уравнения (1).

Задача оптимизации параметров регулятора формулируется следующим образом. Требуется определить оптимальные параметры PID-регулятора, обеспечивающие заданные динамические характеристики системы управления при условии, что параметры объекта управления могут изменяться случайным образом относительно своих номинальных значений.

В качестве случайного параметра будем рассматривать коэффициент вязкого трения на золотнике электрогидравлического усилителя в составе ЭГСП, обозначаемый далее как h_3 . Чтобы учесть влияние данного случайного параметра положим, что он является нормально распределенной слу-

чайной величиной, для которой определены математическое ожидание $m_{h_3} = 0,12 \frac{H \cdot c}{M}$ и дисперсия $D_{h_3} = 0,15 \cdot 10^{-3} \frac{H^2 \cdot c^2}{M^2}$. При этом максимальное отклонение h_3 от номинального значения при нормальном законе распределения составляет $\Delta h_3 = \pm 0,0366$.

Оптимизацию параметров k_P, k_I, k_D предлагается выполнять в два этапа. На первом этапе ищутся значения данных параметров, обеспечивающие наилучшее приближение выходного сигнала системы к эталонному переходному процессу $x_{\text{э}}(t)$ при условии, что технологический разброс параметров ЭГСП отсутствует. Поиск параметров PID-регулятора на данном этапе осуществляется путем минимизации следующего функционала, построенного с использованием проекционной модели системы управления [1], включающей ЭГСП и PID-регулятор:

$$J(k_P, k_I, k_D) = \left[\mathbf{C}^{x_{\text{э}}} - \mathbf{C}^{x_p}(k_P, k_I, k_D) \right]^T \left[\mathbf{C}^{x_{\text{э}}} - \mathbf{C}^{x_p}(k_P, k_I, k_D) \right], \quad (2)$$

где $\mathbf{C}^{x_{\text{э}}}$ – проекционная характеристика (ПХ) эталонного переходного процесса $x_{\text{э}}(t)$; $\mathbf{C}^{x_p}(k_P, k_I, k_D)$ – ПХ переходного процесса, вычисленная по проекционной модели системы управления для заданных значений параметров PID-регулятора.

Проекционная модель системы является результатом конечномерной аппроксимации исходной непрерывной модели, выполняемой с использованием методов теории матричных операторов [2].

Принимая за начальные значения $k_P = 1, k_I = 0, k_D = 0$, путем минимизации (2) находим значения $k_P = 1,1310$, $k_I = 0,3711$, $k_D = 0,0198$. При данных значениях параметров PID-регулятора переходный процесс имеет вид, представленный на рис. 1 (пунктирная линия – $x_{\text{э}}(t)$, непрерывная линия – $x(t)$).

На втором этапе выполняется повторная оптимизация параметров k_P, k_I, k_D путем минимизации следующего функционала:

$$J(k_P, k_I, k_D) = \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \left[c_{ij}^{\varepsilon_m}(k_P, k_I, k_D) \right]^2 \right]^{1/2} +$$

$$+ \left[\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^P [c_{ij}^R(k_{II}, k_{II}, k_{II})]^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

где $c_{ij}^R(k_{II}, k_{II}, k_{II})$ – элементы квадратной матрицы $\mathbf{C}^{R_{xx}}(k_{II}, k_{II}, k_{II})$ – ПХ автокорреляционной функции выходного сигнала стохастической модели ЭГСП, вычисляемая по усредненной проекционной модели [1]; P – число членов разложения по ортогональному базису функций Уолша; $c_{ij}^{\varepsilon_m}(k_{II}, k_{II}, k_{II})$ – элементы квадратной матрицы проекционной характеристики $\mathbf{C}^{\varepsilon_m}(k_{II}, k_{II}, k_{II})$, вычисляемой как

$$\mathbf{C}^{\varepsilon_m}(k_{II}, k_{II}, k_{II}) = \mathbf{C}^x (\mathbf{C}^x)^T - \mathbf{C}^{m_x}(k_{II}, k_{II}, k_{II}) (\mathbf{C}^{m_x}(k_{II}, k_{II}, k_{II}))^T,$$

где \mathbf{C}^x – проекционная характеристика выходного сигнала ЭГСП для k_{II}, k_{II}, k_{II} , найденных на первом этапе алгоритма оптимизации без учета фактора случайности параметров ЭГСП (результат детерминированного анализа); $\mathbf{C}^{m_x}(k_{II}, k_{II}, k_{II})$ – проекционная характеристика математического ожидания выходного сигнала стохастической модели ЭГСП, также вычисляемая по усредненной проекционной модели [1]; T – знак транспонирования.

Минимизируя функционал (3) при начальных значениях $\mathbf{K} = [1,1310, 0,3711, 0,0198]$, полученных на первом этапе оптимизации, находим следующие оптимальные значения параметров PID-регулятора $k_{II} = 1,1267$, $k_{II} = 0,3715$, $k_{II} = 0,0195$. Видно, что новые значения отличаются от найденных ранее. Таким образом, удалось скомпенсировать влияние случайного технологического разброса параметров ЭГСП за счет небольшой коррекции значений параметров PID-регулятора, найденных для детерминированной модели ЭГСП.

На рис. 2 представлен график выходного сигнала ЭГСП после выполнения первого этапа оптимизации параметров PID-регулятора без учета случайного разброса параметров ЭГСП (непрерывная линия) и график математического ожидания этого же сигнала с учетом случайного разброса параметров ЭГСП (пунктирная линия). Видно, что случайный разброс параметров приводит к смещению среднего значения выходного сигнала ЭГСП, то есть ухудшает точность работы следящей системы управления.

На рис. 3 показан результат второго этапа оптимизации, после выполнения которого среднее значение выходного сигнала ЭГСП при случайном разбросе его параметров (пунктирная линия) практически не отличается от выходного сигнала ЭГСП не имеющего случайного разброса параметров (непрерывная линия).

На рис. 4 представлено сравнение дисперсии выходного сигнала ЭГСП со случайным разбросом параметров до выполнения второго этапа оптимизации параметров PID-регулятора (непрерывная линия) и после оптимизации параметров PID-регулятора (пунктирная линия). Видно, что второй этап оптимизации позволил не только скомпенсировать отклонение среднего значения выходного сигнала ЭГСП, вызванное случайным разбросом его параметров (рис. 3), но и заметно уменьшить его дисперсию и, соответственно, среднеквадратическое отклонение, что также положительно сказывается на точности работы следящей системы.

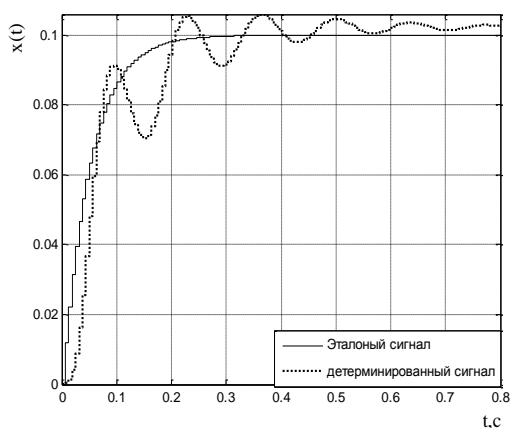


Рис. 1.

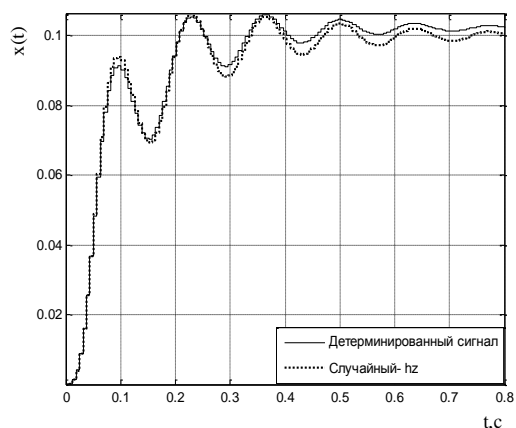


Рис. 2.

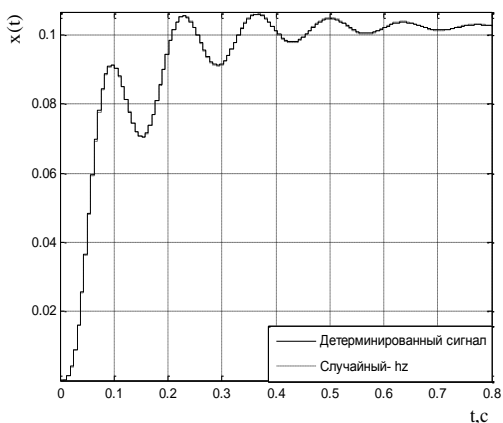


Рис. 3.

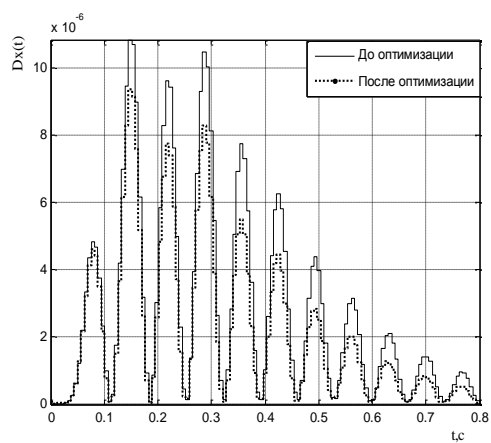


Рис. 4.

Таким образом, предложен метод оптимизации параметров элементов систем автоматического управления, позволяющий учесть влияние случайности параметров объекта управления. По сравнению с традиционным подходом к синтезу последовательных корректирующих устройств, данный метод обеспечивает более высокую точность работы системы управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (грант № 14-41-03071).

Список литературы

[1]. Пупков К.А., Егупов Н.Д., Макаренков А.М. и др. Теория и компьютерные методы исследования стохастических систем. — М.: Физматлит, 2003. — 400 с.

[2]. Лапин С.В., Егупов Н.Д. Теория матричных операторов и ее приложение к задачам автоматического управления. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997. — 496 с.

Тин Эй Чжо - аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tinayekyaw87@gmail.com

Тун Тун Чжо - аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: htaminncyaw@gmail.com

Макаренков А.М. - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: amm2005@rambler.ru

Широкова З.Г. - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sh0001@rambler.ru

А.А. Брынза, Д.А. Кузнецов, М.О. Корлякова

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ГЛАЗАМИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ОСОБЫХ ТОЧЕК

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Представлены подходы к построению системы слежения за глазами для решения задачи распознавания и слежения за глазами в поле зрения системы технического зрения. Предложена схема решения задачи распознавания и проведено ее моделирование.

Ключевые слова: Техническое зрение, распознавание образов, слежение за глазами.

Современные системы организации взаимодействия пользователя с вычислительной системой ориентированы на переход к естественным для человека формам управления компьютерам. Данные системы могут работать за счет пространственных методов анализа среды и положения пользователя в среде [1].

Для создания подобной системы необходимым условием является наличие камеры, в нашем случае используется веб-камера, с разрешением 640x480 пикселей, а так же устройства для обработки информации, в нашем случае - компьютер.

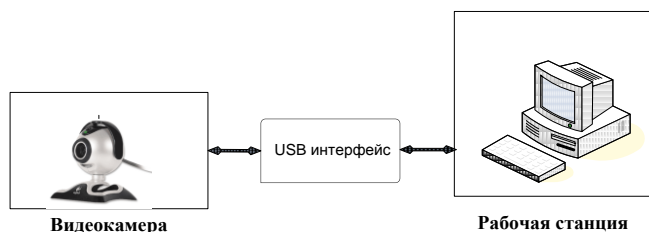


Рис.1. Общая схема системы технического зрения

Рассмотрим следующие подходы к распознаванию глаз: Метод основанный на поиске особых точек [3, 4], метод основанный на выделении границ [5]. Алгоритмы данных методов, приведены на Рис.2



Рис.2. Алгоритмы распознавания глаз: Метод основанный на поиске особых точек(слева), метод основанный на выделении границ(справа)

Представим схему процедуры детектирования с использованием прикладных библиотек системы MatLab в следующем виде:

1. Преднастройка оборудования, захват изображения с устройства, предобработка. В качестве предобработки изображения, используется операция контрастирования.

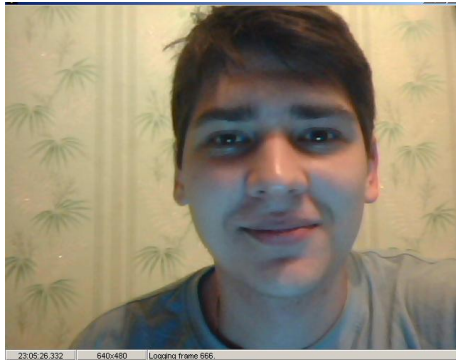


Рис.3. Полученное фоновое изображение.

2. Выделение области интереса. Для уменьшения вычислительной сложности и повышения точности нахождения особых точек, поиск глаз пользователя используется не на всем изображении, а в конкретной области задаваемой пользователем.

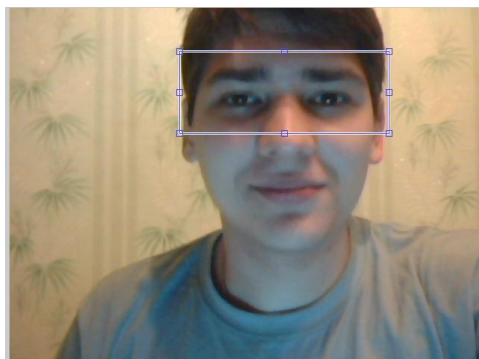


Рис.4. Изображение области интереса

3. А) Поиск особых точек. Особые точки изображений - это точки с характерными окрестностями, которые имеет некие признаки, существенно отличающие её от от всех соседних точек. В качестве детекторов особых точек, используется детектор Surf и детектор Харриса, данные детекторы особых точек инварианты к положению объекта в кадре, освещению, сдвигу, масштабу.

Б) Определение границ замкнутых объектов детектором границ Кэнни и заливка замкнутых областей. Детектор границ Кэнни — оператор обнаружения границ изображения, использует многоступенчатый алгоритм для обнаружения широкого спектра границ в изображениях.

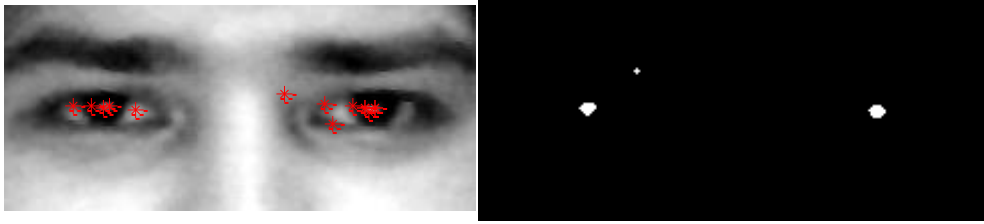


Рис.4. А)Особые точки найденные в области интереса (слева).
 Б)Окружности найденные в области интереса (справа)

1. А) Анализ особых точек. Данный анализ производится с целью классификации принадлежности особой точки глазу. После вычисления координат всех точек, центр глаз определяется как среднее значение координат всех точек глаза.

Б) Определение положение окружностей. В области интереса с помощью стандартных функций MatLab, используется определение характеристик изображения, в частности окружностей.



Рис.5. Изображение области интереса полученная с помощью метода основанный на поиске особых точек (слева), метод основанный на выделении границ (справа)

После нахождения и анализа особых точек или определения положения окружностей осуществляется захват нового кадра.

Тестирование работы методов осуществлялось при естественном и искусственном освещении, дистанция между камерой и объектом не превышала двух метров. В области интереса рассматривается лицо только одного человека. При использовании метода основанного на поиске особых точек, время обработки кадра в среднем составляет 0.9 секунды. При использовании метода основанного на выделении границ, время обработки кадра в среднем составляет 1.1 секунды.

Алгоритм, основанный на поиске особых точек, при низкой освещенности показал стабильный результат, продолжая точно отслеживая глаза при наклоне и повороте головы. Периодически, наблюдались погрешности определение положение глаз-местонахождение зрачка указывалось не точно. Алгоритм, основанный на выделении границ, показал менее стабиль-

ный результат, при наклоне и повороте головы, данный метод не точно отслеживал положение глаз, однако позволяет сделать выводы о диаметре зрачка, определить является ли глаз открытым. Совместив два метода, получили алгоритм, позволяющий устойчиво следить за положением глаз человека, время обработки кадра занимает 1.2 секунды. Результат работы алгоритма можно увидеть на Рис.6

Данные реализации не требуют высокой вычислительной сложности, алгоритм достаточно прост для реализации стандартными функциями среды Matlab'a. Позволяет отслеживать расположение, как глаз, так и зрачков глаза с высокой степенью точности.

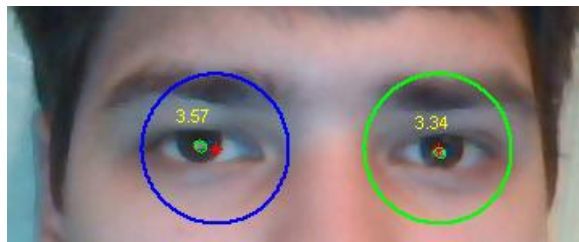


Рис.6. Распознавание глаз методом основанный на поиске особых точек и выделении границ.

Список литературы

[1] Pigou, L., Van den Oord, A., Dieleman, S., Van Herreweghe, M., Dambre, J. Beyond Temporal Pooling: Recurrence and Temporal Convolutions for Gesture Recognition in Video // [http:// arXiv.org/arXiv: 1506.01911](http://arXiv.org/arXiv:1506.01911) (дата обращения 28.10.2015)

[2] Kawato, S. Two-step approach for real-time eye tracking with a new filtering technique / S. Kawato; J. Ohya // *Systems, Man, and Cybernetics*, 2000. - Vol.2. - P.1366 – 1371

[3] Хабрахабр: Детекторы углов // URL:<http://habrahabr.ru/post/244541> (дата обращения 1.05.15).

[4] Интуит: Лекция 3: Детекторы и дескрипторы ключевых точек. Алгоритмы классификации изображений. Задача детектирования объектов на изображениях и методы её решения

[5]URL:<http://www.intuit.ru/studies/courses/10621/1105/lecture/17983> (дата обращения 8.08.15).

[6]Хабрахабр: Детектирование округлостей на изображении средствами MATLAB// URL <http://habrahabr.ru/post/114335/> (дата обращения 1.08.15).

Брынза Андрей Андреевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: wolf_93_21@mail.ru

Кузнецов Денис Александрович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: OrionJM@yandex.ru

Корлякова Мария Олеговна - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mkorlyakova@yandex.ru

А.А Брынза, Д.А. Кузнецов, М.О Корлякова

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЛИЦА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Представлен подход к построению системы человеко-машинного интерфейса на основе анализа движений человека. Предложена схема решения задачи распознавания и проведено ее моделирование в среде Matlab.

Ключевые слова: Техническое зрение, распознавание образов, слежение за глазами.

Бесконтактные системы взаимодействия с компьютером являются одним из основных подходов к развитию интерфейсов вычислительных систем. Они направлены на упрощение передачи информации от пользователя к компьютеру. К ним относятся, например, различные программы для организации управления через естественные жесты человека. Пример подобных систем на основе распознавания выражений лица и жестов приведен в [1]. Пользователями таких систем могут быть люди с ограниченными возможностями, которым сложно использовать клавиатуру и «мышь», клиенты систем виртуальной реальности [2], или операторы сложных технических систем, которые подразумевают слежение за состоянием оператора, для задач эндоскопической хирургии, для игровых приложений.

Вместо клавиатуры и мыши для управления интерфейсом используют голосовые команды и движения головой. Обычно отслеживаются определенные метки на лице пользователя (особые точки), фиксируется изменение координат, за счет этого обеспечивается управление компьютером. Основные проблемы при создании таких систем связаны с неоднородностью и вариативностью жестов и положений даже одного пользователя. Перечислим наиболее общие особенности среды, в которой работают системы распознавания жестов и выражения лица:

- различные условия освещения требуют снижения зависимости модели распознавания от теней и яркостей,
- различное поведение пользователей при реализации одной задачи,
- пользователи имеют разную внешность и форму тела.

Все выше сказанное, приводит к значительной сложности задачи распознавания жестов и выражений лица. Будем разрабатывать алгоритм определения направления взгляда. Ключевым этапом алгоритма определения направления взгляда является определение центров зрачков на изображении.[4]

Для решения данной задачи, решено было использовать алгоритм Виолы-Джонса, разработанный в начале 2000х годов для распознавания лиц, который стал прорывом в области распознавания [3]. Метод использует технологию скользящего окна. То есть рамка, размером, меньшим, чем исходное изображение, двигается с некоторым шагом по изображению, и с помощью каскада слабых классификаторов определяет, есть ли в рассматриваемом окне лицо.

Метод скользящего окна эффективно используется в различных задачах компьютерного зрения и распознавания объектов.

Метод состоит из 2-х под алгоритмов: алгоритм обучения и алгоритм распознавания. На практике скорость работы алгоритма обучения не важна. Крайне важна скорость работы алгоритма распознавания. По введенной классификации можно отнести к структурным, статистическим и нейронным методам.

Метод имеет следующие преимущества:

- возможно обнаружение более одного набора лиц (глаз) на изображении;
- использование простых классификаторов показывает хорошую скорость и позволяет использовать этот метод в видеопотоке.

Изначально алгоритм был предложен для распознавания только лиц, но его можно использовать для распознавания других объектов, в нашем случае используется для распознавания областей глаз. [3]

На этапе обучения данной системы, сокращается область анализа. Выделяется наиболее важная область, в которой будет производиться поиск глаз. Поскольку, подразумевается, что пользователь будет практически не изменять своего положения, находясь на расстоянии 50-80 см от видео устройства, достаточной является область размером 700x500 пикс. Процедура определяет области потенциального местонахождения глаза и для наглядности пользователя – обводит их в рамки в режиме реального времени.

Определение зрачков состоит в вычислении центра масс полученных областей, определения их координат для дальнейшего анализа.

Для определения моргания пользователя, решено было применять корреляционные алгоритмы.

На этапе обучения, область объектов (глаз) пользователя, в закрытом состоянии выделяется, в ходе анализа, производится корреляция каждого из глаз, тем самым позволяя отделять жестикуляцию. В случае значительного отклонения коэффициента, система информирует об этом, либо выполняет определённые данному жесту действия.

Для определения траектории движения глаз, производится постоянное запоминание текущих координат центров зрачков. Сравнивая с предыдущими положениями, мы можем определять траекторию сдвига. Скорость работы системы (5-7 кадров в секунду) позволяет с хорошим качеством фиксировать изменение, как положения зрачков, так и моргания.

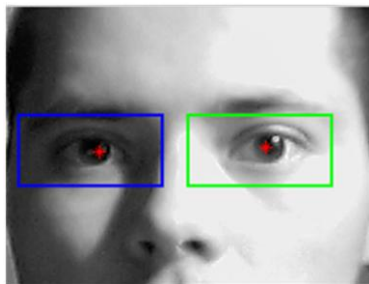


Рис.1. Фрагмент, полученный с видеоустройства, с определёнными областями глаз и зрачками.

В перспективе, применение данной системы будет носить повседневный характер. К примеру, позволяя пользователям осуществлять дистанционное управление курсором компьютерной мыши. С учётом современных достижений в информационной сфере, связанной с функциями голосового управления, система технического зрения, анализирующая поведение глаз, позволит практически полностью автоматизировать процесс управления ПК пользователем.

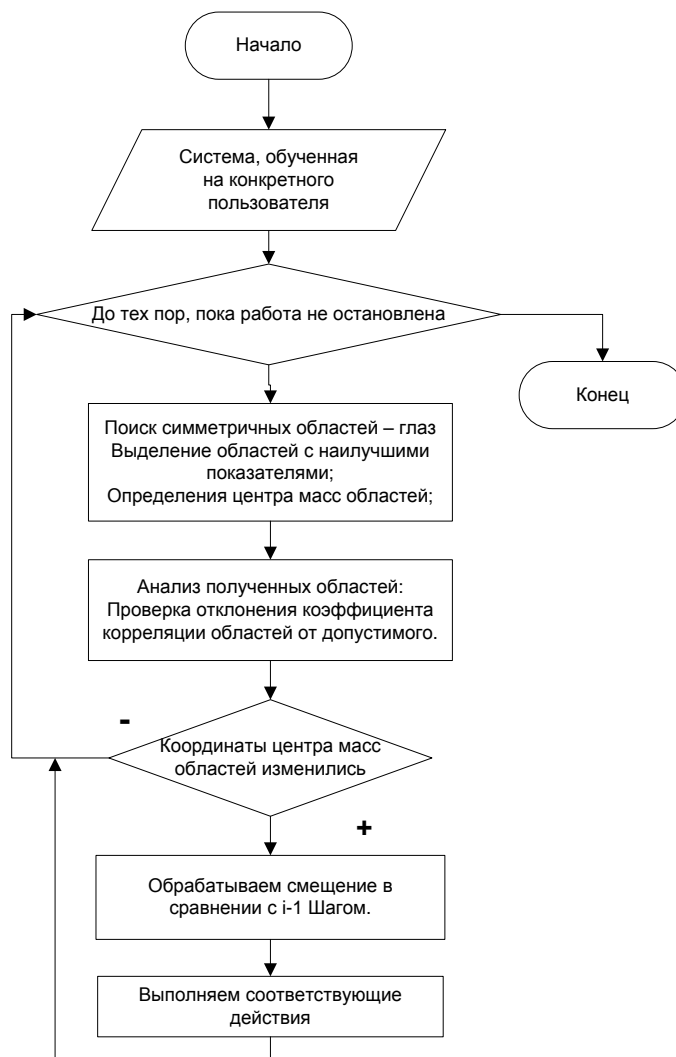


Рис.2. Структурная схема работы алгоритма

Результаты тестирования системы в различных условиях:

1. В зависимости от освещения(таблица 1).

Основная проблема при низкой освещенности – проблема выделения области из за возникновения затёненности в области глаз.

При высокой освещённости – ситуация лучше, однако, в какой 0 либо момент происходит слияние областей глаз с областью лица.

2. В зависимости от угла поворота лица по отношению к камере. Для выявления проведено около 10 испытаний (таблица 2).

Таблица 1.

Условия освещённости	Число испытаний (в каждом условии)	Средняя Продолжительность работы (сек)
Низкая	5	140
Средняя		В данных условиях - не ограничено
Высокая		252

Таблица 2.

Угол поворота лица (по отношению к камере)	Обнаружение областей глаз	
	Левый	Правый
5	+	+
15	+	+
30	+	+
45	-	+
60	-	+
>60	-	-

Современные вычислители обеспечивают высокую производительность, что гарантирует возможность эффективного решения и модернизации поставленной задачи.

Список литературы

[1]. Reza Azad, Babak Azad, Nabil Belhaj Khalifa, Shahram Jamali Real-time human-computer interaction based on face and hand gesture recognition // International Journal in Foundations of Computer Science & Technology (IJFCST), Vol.4, No.4, July 2014 – p.37-48 [http:// arxiv.org/abs/1408.1549](http://arxiv.org/abs/1408.1549) (28.10.2015)

[2]. Amol Palve, Sandeep Vasave. Study of Gesture Recognition methods and augmented reality // [http:// arXiv.org/abs/1411.5137](http://arxiv.org/abs/1411.5137) (28.10.2015)

[3]. P. Viola и J. Michael, «Computer Vision and Pattern Recognition», Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple, 2001

4) Пилипенко М. Н. Определение центров зрачков на изображении // Молодёжный научно – технический вестник, МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва (2013) (ссылка на электронный ресурс)

Кузнецов Денис Александрович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: OrionJM@yandex.ru

Брынза Андрей Андреевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: wolf_93_21@mail.ru

Корлякова Мария Олеговна - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mkorlyakova@yandex.ru

Тун Тун Чжо, Гин Эй Чжо, Мьо Паинг Сат, А.М. Макаренков

СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА НА ДИСПЕРСИЮ ЕГО ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Работа посвящена задаче моделирования случайных вибровоздействий при проведении вибрационных испытаний машин и оборудования. Проблема моделирования случайных вибровоздействий состоит в необходимости учета динамики силового вибрационного привода испытательного стенда при воспроизведении испытательных сигналов с требуемыми статистическими характеристиками.

При испытаниях объектов, имеющих большую массу, требуется достаточно мощный силовой привод, в качестве которого в вибрационных стендах обычно используется электрогидравлический привод, отличающийся высокой удельной мощностью и быстродействием. Но, несмотря на все преимущества электрогидравлического привода, далеко не всегда удается построить такую систему управления вибрационным стендом, которая обеспечивала бы точное воспроизведение быстроизменяющегося испытательного сигнала, подаваемого на его вход, то есть представить вибрационный стенд как линейный усилитель мощности с горизонтальной амплитудно-частотной характеристикой в широком диапазоне частот. В таких случаях вместо точного воспроизведения некоторого сигнала пытаются получить на выходе испытательный сигнал с заданными характеристиками за счет формирования соответствующего входного сигнала. Например, чтобы получить на выходе вибростенда испытательное воздействие с требуемой корреляционной функцией при испытаниях на случайную вибрационную нагрузку, не обязательно точно воспроизводить каждую реализацию случайного процесса, подаваемого на его вход. Достаточно обеспечить требуемые статистические характеристики случайного вибровоздействия, рассматривая вибрационный стенд как формирующий фильтр, на вход которого поступает некоторый случайный процесс с относительно широким спектром.

Ввиду того, что электрогидравлический привод отличается нестабильностью параметров, обусловленной как внешними (температура окружающей среды, содержание газовой фазы в рабочей жидкости), так и внутренними (технологический разброс) случайными факторами, такой формирующий фильтр может вносить существенные искажения в статистические характеристики формируемых вибровоздействий, обусловленные случайностью своих параметров. Например, если на вход вибростенда подается смесь детерминированного и случайного сигналов, то случай-

ность параметров вибростенда приводит к существенным колебаниям дисперсии формируемого случайного вибровоздействия, вызванным детерминированной составляющей его входного сигнала. Это является одной из особенностью стохастической системы, состоящей в том, что корреляционная функция ее выходного сигнала определяется не только корреляционной функцией входного сигнала, как это имеет место для детерминированной системы, но и его математическим ожиданием.

В работе предлагается способ компенсации фактора случайности параметров электрогидравлического привода в составе вибрационного стенда, на вход которого поступает сумма случайного и детерминированного сигналов. Данный подход основан на пропорциональном изменении дисперсии случайной составляющей входного сигнала, компенсирующем влияние его детерминированной составляющей на дисперсию выходного сигнала (формируемого вибровоздействия).

В качестве электрогидравлического привода рассматривается электрогидравлический следящий привод (ЭГСП), редуцированная математическая модель которого описывается следующим дифференциальным уравнением стохастической системы:

$$a_5x^{(5)} + a_4x^{(4)} + a_3x''' + a_2x'' + a_1x' + a_0x = b_0y, \quad (1)$$

Коэффициенты уравнения (1) функционально зависят от случайных физических параметров ЭГСП и, таким образом, сами являются случайными величинами.

Проекционная аппроксимация [1] модели (1) позволяет записать решение задачи статистического анализа в следующей операторной форме [3]:

$$\mathbf{C}^{R_{xx}} = M \left[\mathbf{A} \mathbf{C}^{R_{yy}} \mathbf{A}^T \right] + M \left[\mathbf{A} \mathbf{C}^{m_y} \left(\mathbf{C}^{m_y} \right)^T \mathbf{A}^T \right] - \mathbf{C}^{m_x} \left(\mathbf{C}^{m_x} \right)^T, \quad (2)$$

$$\mathbf{C}^{m_x} = M \left[\mathbf{A} \right] \mathbf{C}^{m_y} \quad (3)$$

где \mathbf{A} – квадратная матрица проекционной характеристики (матричный оператор) системы; $\mathbf{C}^{R_{xx}}$ – квадратная матрица проекционной характеристики (ПХ) корреляционной функции выходного сигнала; $\mathbf{C}^{R_{yy}}$ – ПХ корреляционной функции входного сигнала; \mathbf{C}^{m_x} и \mathbf{C}^{m_y} – соответственно ПХ математического ожидания выходного и входного сигнала; $M[\cdot]$ – оператор математического ожидания; T – знак транспонирования.

Из выражения (2) видно, что влияние ненулевого математического ожидания обусловлено вторым и третьим слагаемым в его правой части.

Идея компенсации этого влияния состоит во введении матрицы множителя на некоторую функцию $f(t)$ (матричный оператор умножения \mathbf{A}^f) в первое слагаемое, т.е. в преобразовании (2) к виду

$$\mathbf{C}^{R_{xx}} = M \left[\mathbf{A} \mathbf{A}^f \mathbf{C}^{R_{yy}} (\mathbf{A}^f)^T \mathbf{A}^T \right] + M \left[\mathbf{A} \mathbf{C}^{m_y} (\mathbf{C}^{m_y})^T \mathbf{A}^T \right] - \mathbf{C}^{m_x} (\mathbf{C}^{m_x})^T, \quad (4)$$

что соответствует введению множителя в цепь случайной составляющей входного сигнала системы. Далее случайная ($\tilde{y}(t) \cdot f(t)$) и детерминированная ($\bar{y}(t)$) составляющие поступают на вход сумматора, формирующего смешанный входной сигнал $y(t)$.

Уменьшение среднего уровня дисперсии выходного сигнала системы, обусловленное действием множителя \mathbf{A}^f , компенсируется добавлением к входному сигналу второй случайной составляющей $\tilde{y}^*(t)$ в виде случайного процесса, некоррелированного с первой случайной составляющей $\tilde{y}(t)$ и имеющего корреляционную функцию того же вида, но с дополнительным коэффициентом k . Например, если корреляционная функция случайной составляющей входного сигнала имеет вид $R_{\tilde{y}\tilde{y}}(t_1, t_2) = D e^{-b|t_1 - t_2|}$, то корреляционная функция второй случайной составляющей $y^*(t)$ будет определяться как

$$R_{\tilde{y}^*\tilde{y}^*}(t_1, t_2) = k D e^{-b|t_1 - t_2|}. \quad (5)$$

Тогда выражение (4) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \mathbf{C}^{R_{xx}} = M \left[\mathbf{A} \left(\mathbf{A}^f \mathbf{C}^{R_{yy}} (\mathbf{A}^f)^T + \mathbf{C}^{R_{\tilde{y}^*\tilde{y}^*}} \right) \mathbf{A}^T \right] + \\ + M \left[\mathbf{A} \mathbf{C}^{m_y} (\mathbf{C}^{m_y})^T \mathbf{A}^T \right] - \mathbf{C}^{m_x} (\mathbf{C}^{m_x})^T, \end{aligned} \quad (6)$$

а сигнал на входе ЭГСП будет формироваться следующим образом:

$$y(t) = \tilde{y}(t) f(t) + \tilde{y}^*(t) + \bar{y}(t). \quad (7)$$

Если детерминированная составляющая является гармоническим сигналом $\bar{y}(t) = A \sin \omega t$, то частота колебаний дисперсии выходного сигнала

системы в установившемся режиме также будет равна ω с некоторым фазовым сдвигом. Тогда функция $f(t)$ может выглядеть так:

$$f(t) = 1 - r \frac{|A \sin(\omega t + \varphi)|}{\max |A \sin(\omega t + \varphi)|}, \quad (8)$$

где коэффициент r определяет уровень компенсации, а φ – фазовый сдвиг, позволяющий получить “противофазный” сигнал $f(t)$, гасящий колебания дисперсии выходного сигнала системы.

Для нахождения параметров r , φ и k можно воспользоваться приемом минимизации функционала, выражающего близость корреляционных функций выходного сигнала стохастической системы (1) и детерминированной системы, также описываемой уравнением (1), в котором все случайные коэффициенты заменены своими математическими ожиданиями. В качестве критерия близости можно использовать метрику пространства $L^2([0, T] \times [0, T])$

$$\rho(r, \varphi, k) = \left(\int_0^T \int_0^T [R_{xx}^d(t_1, t_2) - R_{xx}^s(t_1, t_2, r, \varphi, k)]^2 dt_1 dt_2 \right)^{1/2}, \quad (9)$$

где $R_{xx}^d(t_1, t_2)$ и $R_{xx}^s(t_1, t_2, r, \varphi, k)$ – корреляционные функции выходного сигнала детерминированной и стохастической системы соответственно, при этом последняя зависит от искомым параметров компенсации.

Проекционная аппроксимация модели (1) позволяет представить функционал (7) в следующей удобной для вычисления форме:

$$J(r, \varphi, k) = \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p [c_{ij}^{\varepsilon R}(r, \varphi, k)]^2 \right]^{1/2}, \quad (10)$$

где $c_{ij}^{\varepsilon R}(r, \varphi, k)$ – элементы квадратной матрицы ПХ, вычисляемой как

$$\mathbf{C}^{\varepsilon R}(r, \varphi, k) = \mathbf{C}^{R_{xx}^d} - \mathbf{C}^{R_{xx}^s}(r, \varphi, k), \quad (11)$$

где $\mathbf{C}^{R_{xx}^u}$ и $\mathbf{C}^{R_{xx}^s}(r, \varphi, k)$ – проекционные характеристики автокорреляционных функций $R_{xx}^d(t_1, t_2)$ и $R_{xx}^s(t_1, t_2, r, \varphi, k)$ соответственно.

Проекционная характеристика $C^{R_{xx}^s}(r, \varphi, k)$ в (11) вычисляется по усредненной проекционной модели системы (1) с использованием приема разложения случайной обратной матрицы A в ряд Неймана с последующим аналитическим усреднением членов этого ряда [2].

В качестве примера решения задачи компенсации влияния случайности параметров ЭГСП, описываемого моделью (1), на дисперсию его выходного сигнала, рассмотрим воспроизведение детерминированного сигнала $\bar{y}(t) = 0.01 \sin(34.89t)$ с наложенной на него центрированной случайной составляющей $\tilde{y}(t)$ с корреляционной функцией $R_{\tilde{y}\tilde{y}}(t_1, t_2) = 4 \cdot 10^{-5} e^{-60|t_1 - t_2|}$. В качестве случайного параметра возьмем коэффициент вязкого трения на золотнике электрогидравлического усилителя h_3 . Данный параметр будем считать гауссовой случайной величиной с математическим ожиданием $m_{h_3} = 0,25 \frac{H \cdot c}{M}$ и дисперсией $D_{h_3} = 0,0017 \frac{H^2 c^2}{M^2}$. При этом в уравнении (1) случайными будут коэффициенты a_1, a_2, a_3, a_4 , математические ожидания и дисперсии которых вычисляются через заданные m_{h_3} и D_{h_3} .

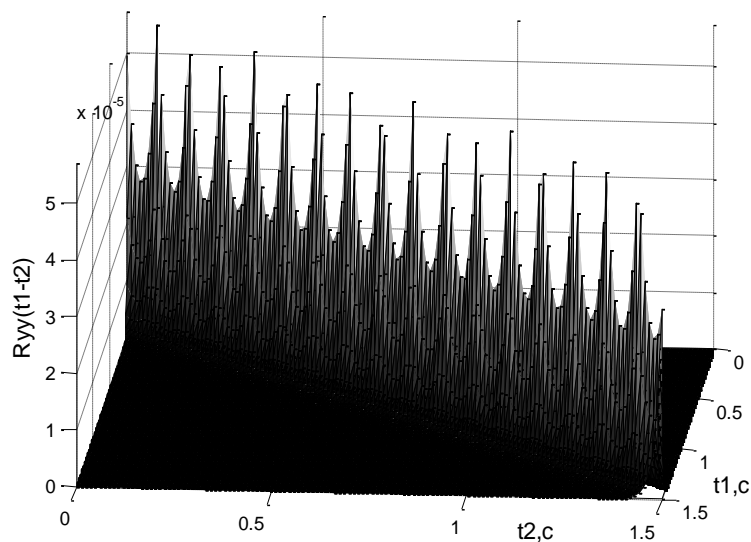


Рис. 1.

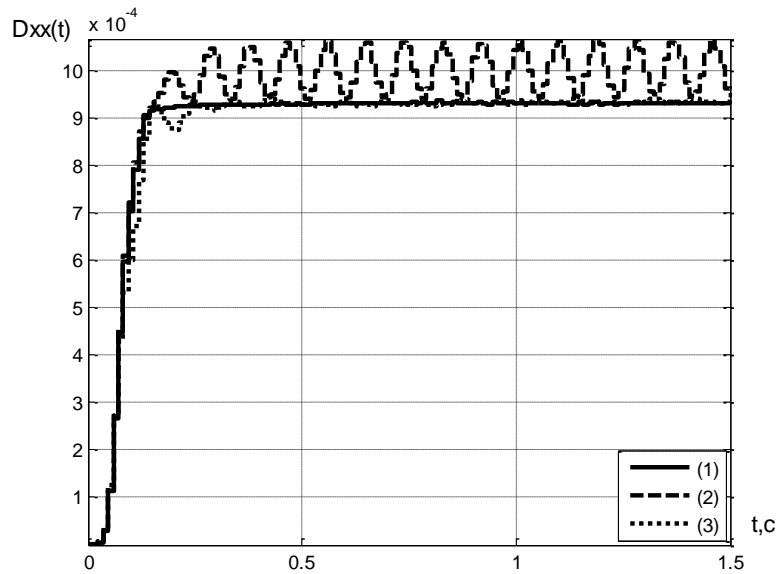


Рис. 2

На рис. 1 приводится график автокорреляционной функции скорректированного входного сигнала $y(t)$ для стохастической модели ЭГП.

На рис. 2 представлены графики дисперсии выходного сигнала для стохастической и детерминированной модели ЭГСП. Здесь: (1) – дисперсия выходного сигнала детерминированной модели; (2) – дисперсия выходного сигнала стохастической модели без компенсации влияния случайности параметра h_3 ; (3) – дисперсия выходного сигнала стохастической модели с компенсацией влияния случайности параметра h_3 ;

Алгоритм вычисления функционала (10) использует выражение для вычисления $C^{R_{xx}}(r, \varphi, k)$, полученное в результате аналитического раскрытия моментов $M[\cdot]$ в (2) и (3). Алгоритм такого аналитического усреднения требует существенных затрат вычислительных ресурсов в связи с необходимостью выполнения большого числа аналитических преобразований при выводе выражений для стохастических моментов высоких порядков, но в то же хорошо подходит для реализации на вычислительной платформе Grid [4]. В связи с этим возможно использование таких средств поддержки параллельных вычислений, предоставляемых пакетом MATLAB (MathWorks, Inc.), как Distributed Computing Toolbox и Distributed Computing Engine.

Таким образом, в работе рассмотрен способ компенсации влияния фактора случайности параметров ЭГСП на дисперсию его выходного сигнала в приложении к задаче формирования случайных вибровоздействий.

Приведен численный пример, демонстрирующий эффективность предлагаемого подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (грант № 14-41-03071).

Список литературы

[1]. Лапин С.В., Егупов Н.Д. Теория матричных операторов и ее приложение к задачам автоматического управления. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997. — 496 с.

[2]. Пупков К.А., Егупов Н.Д., Макаренков А.М. и др. Теория и компьютерные методы исследования стохастических систем. — М.: Физматлит, 2003. — 400 с.

[3]. Макаренков А.М. Учет влияния случайных параметров в проекционных моделях систем автоматического управления // Известия ТулГУ. Серия Вычислительная техника, информационные технологии, системы управления. Вып.3. Системы управления. Том.2. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. — С.30-38.

[4]. Оленёв Н.Н., Печёнкин Р.В., Чернецов А.М. Параллельное программирование в MATLAB и его приложения. — М.: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, 2007. — 121 с.

Тун Тун Чжо - аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: htaminncyaw@gmail.com

Тин Эй Чжо - аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tinayekyaw87@gmail.com

Мью Паинг Сат - аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: myoraingsatt85@gmail.com

Макаренков А.М. - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: amm2005@rambler.ru

Н.В. Аксенов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНОК МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ [1]

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. Постановка задачи. При исследовании динамических систем, функционирующих при случайных воздействиях, встает задача оценки вероятностных характеристик входных и выходных сигналов. Для того, чтобы определить тип случайного процесса, а именно является ли он стационарным или нестационарным, необходимо иметь оценку математического ожидания (МО).

Существуют различные способы нахождения оценок МО. Как следует из теории вероятностей (статистической динамики), оценка МО нестационарного случайного процесса может быть определена по выражению [1]

$$m_x(t_i) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_k(t_i), \quad (1)$$

где M – число имеющихся реализаций случайного процесса, $x_k(t_i)$ – k -я реализация случайного процесса, t_i – значение временного отсчета. Как правило, анализ и обработка производится для сигналов, хранящихся в ЭВМ в цифровом виде.

Существуют другие способы получения оценок МО. Такими являются: аппроксимация сигнала различными кривыми [2], и фильтрация высокочастотных составляющих случайного процесса [3].

Аппроксимация осуществляется путем подбора функции, которая наилучшим образом по некоторому критерию приближена к исследуемой числовой последовательности. Основной проблемой, возникающей при аппроксимации, является выбор аппроксимирующего полинома (функции), и его степени. В общем случае аналитическое выражение для МО может быть очень сложным, поэтому аппроксимирующая функция должна быть выбрана исходя из априорной информации о случайном процессе. Например, его колебательный характер может указывать на необходимость использования тригонометрического базиса.

Сравнительный анализ алгоритмов. Для сравнения эффективности алгоритмов оценки МО был проведен вычислительный эксперимент. В ходе эксперимента производится вычисление МО указанными методами для искусственно сформированного случайного процесса. Процесс был выбран

как сумма низкочастотной колебательной функции, моделирующей МО и белого шума. Пример реализации сигнала изображен на рис. 1.

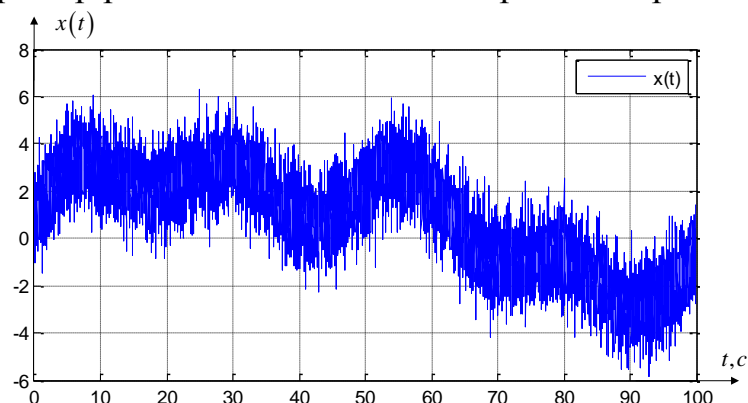


Рис. 1. Сформированный случайный процесс с ненулевым МО

Для оценки по формуле (1) использовались 100 реализаций. Для других методов использовалась одна реализация.

Результаты экспериментов. Результаты оценки МО по формуле (1) приведены на рис. 2.

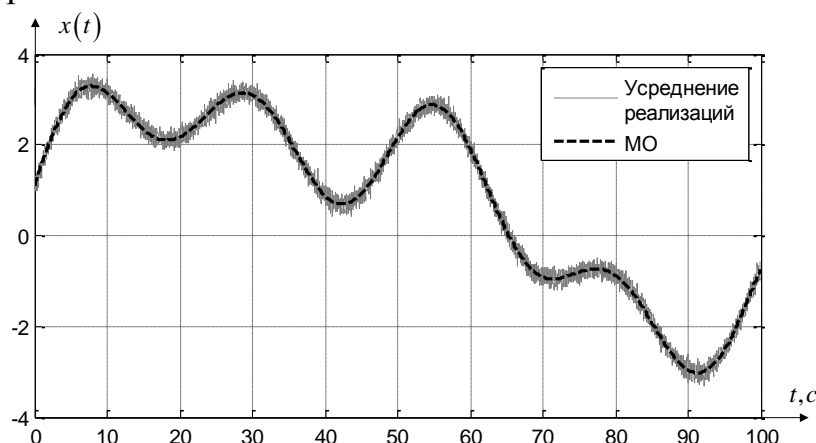


Рис. 2. МО, полученное по результату усреднения 100 реализаций

Полученный сигнал представляет собой сумму детерминированного сигнала, моделирующего МО, и белого шума. Как видно из рис. 2, полученная оценка $\hat{m}_x(t)$ достаточно близка к истинному значению МО. При увеличении числа реализаций ($M \rightarrow \infty$) будет иметь место получение точного значения. Однако это связано с большими временными затратами.

Результаты оценки МО с помощью аппроксимации полиномами приведены на рис. 3. Достоинством данного метода являются очень хорошие фильтрующие свойства в смысле получения гладких кривых. Однако главный недостаток – низкая степень приближения к реальному математическому ожиданию из-за различной структуры исследуемой (МО) и аппроксимирующей функций. Метод дает хорошие результаты только при наличии априорной информации о математическом ожидании случайного процесса.

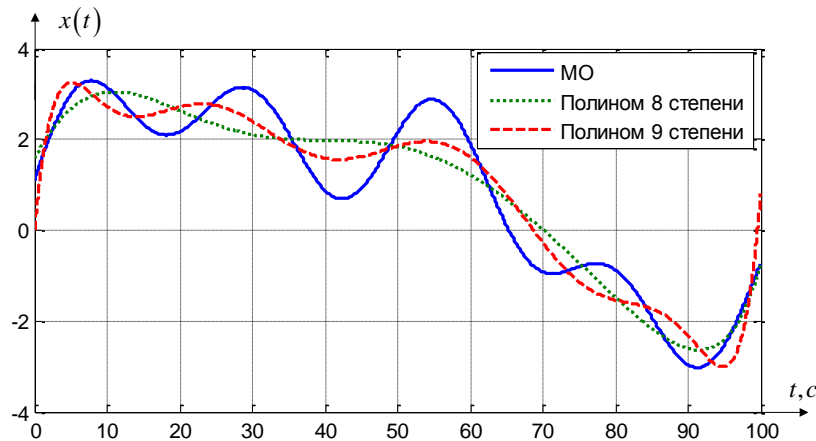


Рис. 3. Аппроксимация случайного процесса

Данный метод получения оценки МО при всей его простоте нельзя отнести к методам, используемым в теории вероятностей и математической статистике, поскольку оперирует с одной реализацией.

Заключение. Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы.

1. Применение метода, использующего аппроксимацию для оценки МО является нецелесообразным, поскольку неизвестна изначально структура функции аппроксимирующей МО.

2. Метод, использующий аппарат усреднения позволяет получить оценку МО с высокой точностью и надежностью, однако для этого требуется достаточно большое количество реализаций, что на практике не всегда возможно.

Литература

[1]. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. Пособие для бакалавров /В. Е. Гмурман – 12-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2014. –470 с.

[2]. Материалы по продуктам MATLAB & Toolboxes – Curve Fitting Toolbox – Математика

[3]. <http://matlab.exponenta.ru/curvefitting/index.php> (Дата обращения 30.10.2015)

[4]. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления – Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 654 с.

Аксенов Никита Владимирович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Nickolaymaltsev@gmail.com

Н.В. Аксенов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНОК МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ [Ш]

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. Постановка задачи. При исследовании динамических систем, функционирующих при случайных воздействиях, встает задача оценки вероятностных характеристик входных и выходных сигналов. Для того, чтобы определить тип случайного процесса, а именно является ли он стационарным или нестационарным, необходимо иметь оценку математического ожидания (МО).

Два метода – метод теории вероятностей и аппроксимация заданными функциями – были рассмотрены в первой части статьи [1].

Фильтрация подразумевает применение динамических систем с заданными свойствами. В частности цифровые рекуррентные фильтры первого или второго порядка, являющиеся фильтрами низких частот, могут обеспечить фильтрацию высокочастотных составляющих, тем самым выделить из случайного процесса сигнал, максимально близкий (в некотором смысле) к МО. Для расчета фильтра необходимо знание полосы пропускания. Она может быть определена по априорной информации о частотном составе случайного процесса. При фильтрации так же имеют место проблемы, к которым можно отнести выбор полосы пропускания, а так же оценивание величины фазового сдвига, неизбежного при прохождении любого сигнала через динамическую систему. В связи с отмеченным, представляет интерес сравнение различных методов оценки МО и предложение рекомендаций по её получению.

Сравнительный анализ алгоритмов.

Для проверки возможности использования алгоритмов фильтрации для оценки МО используем фильтр низких частот, в качестве которого выбрано апериодическое звено с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{1}{Ts + 1}.$$

Цифровой аналог данного фильтра описывается следующим разностным уравнением

$$x[n+1] = ax[n] + by[n+1],$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$.

Коэффициенты a и b определяются зависимостями [2,3]

$$b = \frac{T_s}{T},$$

$$a = e^{-\frac{T_s}{T}}.$$

где T_s – шаг дискретизации, T – постоянная времени.

Выбор полосы пропускания фильтра осуществляется исходя из частотного состава фильтруемого сигнала. Частота пропускания должна быть не ниже самой высокочастотной составляющей МО. В эксперименте МО имеет частоту не более 0,04 Гц, поэтому коэффициент T будет равен (связь постоянной времени и частоты пропускания для апериодического звена)

$$T = \frac{1}{\omega_{np}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,04} = 3,98c.$$

Выбор шага дискретизации можно выполнить исходя из априорной информации о высокочастотном составе МО исследуемого процесса. Полагаем

$$T_s = 0,01c,$$

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_s} = 628 \frac{рад}{c}.$$

Вычислим коэффициенты разностного уравнения

$$b = \frac{T_s}{T} = \frac{0,01}{3,98} = 0,0025,$$

$$a = e^{-\frac{T_s}{T}} = e^{-\frac{0,01}{3,98}} = 0,998.$$

Выбор начального значения $x(t_0)$ для работы фильтра является важным условием для получения “качественной” оценки МО. Определенные отклонения в оценке МО от его “точного” вида в начальные моменты времени связаны с проявлением переходных процессов самого фильтра. В качестве начального значения $x(t_0)$ можно выбрать начальное значение фильтруемого сигнала.

Результаты оценивания МО с помощью фильтрации приведены на рис. 1-2.

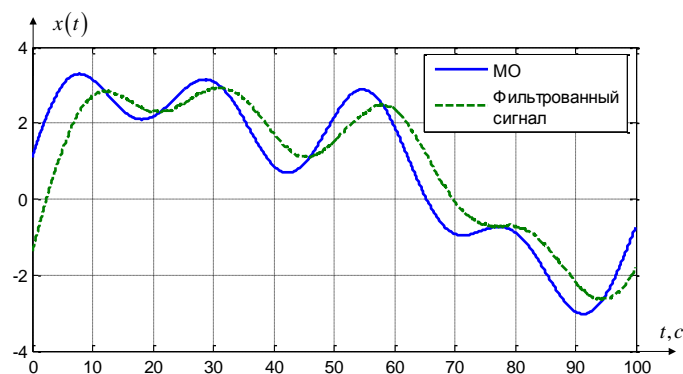


Рис. 1. Фильтрация реализации случайного процесса с частотой пропускания 0,04 Гц

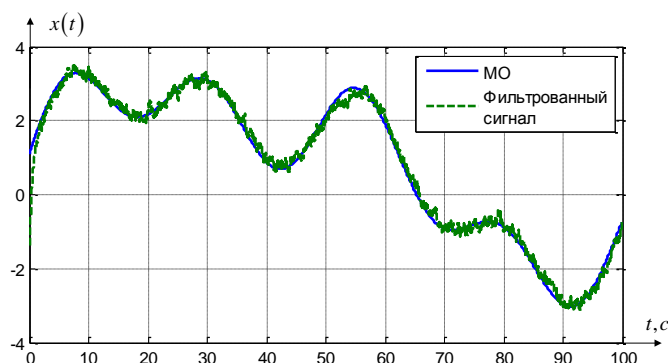


Рис. 2. Фильтрация реализации случайного процесса с частотой пропускания 0,4 Гц

По графикам можно видеть, что удачный выбор частоты пропускания фильтра дает хороший результат. Однако появляется фазовое отставание, присущее динамическим системам. Его можно скомпенсировать, воспользовавшись оценкой фазового сдвига для данного фильтра на частоте пропускания. Для фильтра первого порядка фазовый сдвиг выражается формулой

$$\varphi(\omega) = -\arctg(T\omega)$$

Тогда значение фазового сдвига на частоте пропускания

$$\varphi_{np} = -\arctg(T\omega_{np}) = -\arctg(3,98 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,04) = -0,79.$$

Данный фазовый сдвиг соответствует временному сдвигу

$$T = \frac{|\varphi_{np}|}{\omega_{np}} = \frac{0,79}{2 \cdot \pi \cdot 0,04} = 3,13 \text{ с.}$$

На рис. 3-4 приведено сравнение сигнала без компенсации и с компенсацией фазового сдвига.

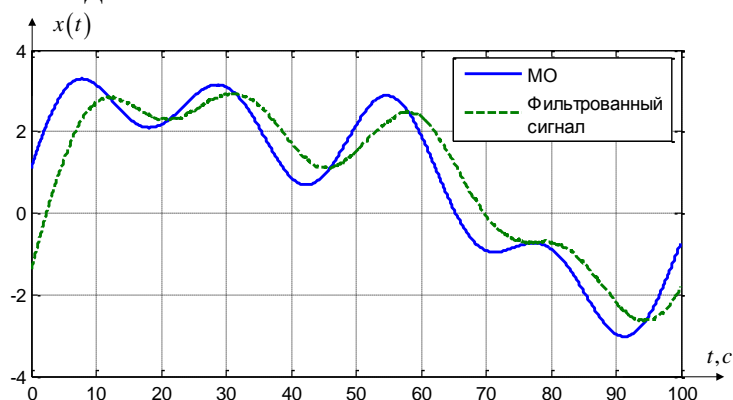


Рис. 3. Фильтрованный сигнал без фазовой компенсации

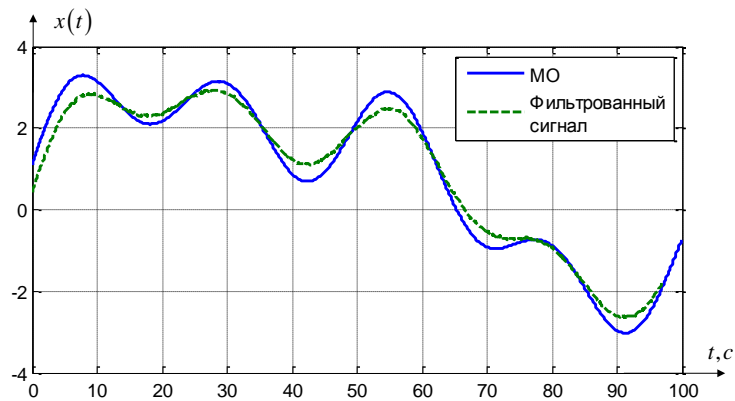


Рис. 4. Фильтрованный сигнал с компенсацией фазового сдвига

Заключение. Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы.

Метод фильтрации позволяет получить процесс достаточно близкий оцениваемому МО, однако имеют место неизбежные искажения, вызванные различными коэффициентами передачи фильтра на разных частотах и различными фазовыми сдвигами.

При оценке МО в каждом конкретном случае можно комбинировать вероятностный подход и фильтрацию.

Литература

[1]. Сравнительный анализ алгоритмов получения оценок математического ожидания нестационарных случайных процессов [1]. Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 24–26 ноября 2015 г. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015

[2]. Математические основы теории автоматического управления. В 3-х томах. Том 3 / Под редакцией Б.К. Чемоданова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.

[3]. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления – Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 654 с.

Аксенов Никита Владимирович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Nickolaymaltsev@gmail.com

СЕКЦИЯ 6.

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

И.Г. Шемель, А.В. Иванушкина

АКТУАЛЬНОСТЬ ВИДЕОЭКОЛОГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ГОРОДАХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

У большинства людей слово экология ассоциируется, в первую очередь, с загрязнением воздуха, воды, почвы, пищи. Сегодня это понятие имеет гораздо более широкий смысл. С каждым годом растут масштабы новой проблемы, требующей экстренного внимания, связанной с изменениями развития молодых людей из-за особенностей восприятия окружающей среды. Появилось новое направление в экологии – видеоэкология, предложенное профессором Филиным В.А.

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения процессы урбанизации ведут к неуклонному росту числа психических заболеваний, одним словом, нарушение жизнеобеспечения человека ведут к масштабным отрицательным последствиям [1]. Видеоэкология, как область знания о взаимоотношениях человека с наблюдаемой им окружающей средой стала актуальной в последние 50 лет. Типовая архитектура не воспринимается положительно человеческим зрением, в отличие от естественной окружающей среды. В большинстве городов наблюдается резкий контраст с естественной природой. Преобладают темные, бесцветные тона, прямые линии и углы, огромное количество больших плоских фигур.

Исследования В.А. Филина показывают, что наибольший дискомфорт человеку доставляют гомогенные и «агрессивные» поля [2]. Под гомогенными полями понимают «голые» стены из бетона и стекла, глухие заборы, переходы и асфальтовые покрытия. Преобладание одинаковых элементов, таких как, ряды окон на плоских стенах высоких домов считается агрессивным. Предполагается, что желание отвернуться от «голой» поверхности, является врожденным. Описанные эксперименты показывают, что младенцы не любят смотреть на гомогенные тесты. Даже в самом раннем возрасте дети предпочитают смотреть на объекты, обладающие видимой структурой. На сложные фигуры дети смотрят в 4 раза дольше, чем на однотонные поверхности такого же размера (рисунок 1) [3]. К сожалению, современные архитекторы приумножают число гомогенных полей в городах.

Из рисунка 1 видно, что гомогенные объекты воспринимаются детьми «мельком», время саккад (согласованное движение глаз в одном направлении) довольно мало в отличие от восприятия сложных объектов.

Нарушение автоматии саккад наблюдается у слепых или слабовидящих, когда вся видимая среда становится для человека либо полностью гомогенной (у слепых), либо более однородной, как при ухудшении зрения. В случае такого нарушения наблюдается подергивание глаз, хорошо заметное визуально за счет того, что саккады ориентированы в одну сто-

рону и увеличены по амплитуде. Подобное нарушение возникает и у детей, которых ранее воспитывали в затемненной комнате.

Дети от 2 до 3 месяцев

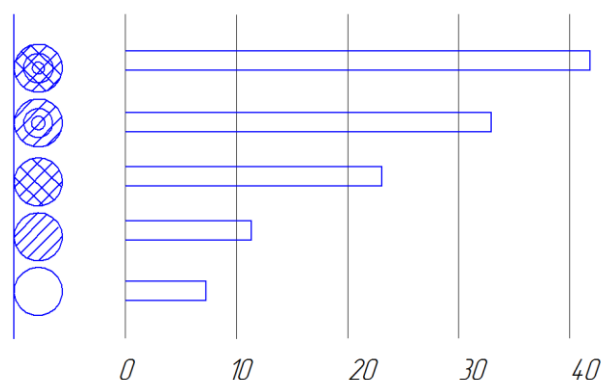


Рис. 1. Продолжительность фиксации младенцами разных объектов.

В большинстве случаев современная архитектура создает агрессивную видимую среду в городе. Это присуще всем многоэтажным зданиям, где на огромной стене рассредоточено большое число окон. Раздражающий фактор, объясняется тем, что изображения, полученные правым и левым глазами, трудно слить в единый зрительный образ. Несмотря на то, что глаз человека приспосабливается в обычных условиях к некоторым аномалиям визуальной среды, полной компенсации не наступает. Более того, такие аномалии могут приводить к искажению зрительного восприятия и возникновению иллюзий [2].

Обозначенная проблема, на сегодняшний день, настолько остра, что любые исследования в области видеоэкологии, очень актуальны, особенно в рамках исполнения государственных программ по сохранению здоровья нового поколения.

Список литературы

[1]. Всемирная организация здравоохранения. Дипломатия в области глобального здравоохранения: обсуждение состояния здоровья в 21-м веке. URL: <http://www.who.int/dg/speeches/2008/20081021/ru/> (дата обращения 25.10.2015).

[2]. Филин А.В., Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что плохо. М.: Видеоэкология. 2008.

[3]. Истомин Б.С., Филин В.А. Архитектура и видеоэкология. *Промышленное и гражданское строительство*. 2006, № 12, с. 36-39.

Шмель Ирина Геннадьевна – старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@mail.ru

Иванушкина Анна Владимировна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: annagilmor@mail.ru

А.С. Птускин, Н.Е. Мальцев, М.Ш. Аннадурдыев

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В РОССИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Каждая страна имеет свои неповторимые климатические, экономические и демографические условия. Так, и уровень социальной ответственности населения в каждом государстве различен. Данная статья посвящена проблеме выбора наиболее эффективных технологий переработки отходов в условиях российской действительности.

Проблема переработки отходов в России сегодня стоит особенно остро. Согласно информации, представленной Российской ассоциацией рециклинга отходов (РОСАРО), на территории Российской Федерации накоплено более 85 млрд т твердых отходов, в том числе около 3 млрд т промышленных отходов. Ежегодный прирост составляет 2-2,5 млрд т. Диаграмма, представленная на рисунке 1, отражает морфологический состав ТБО для г. Москвы. По статистике Росприроднадзора, в 2010 г. в России насчитывалось около 24 тыс. объектов размещения отходов, из них более 2,6 тыс. – полигонов ТБО, более 10 тыс. – промышленных и около 11 тыс. – несанкционированных свалок. При этом требованиям, предъявляемым к объектам размещения отходов, соответствовали не более 8% объектов. Сегодня ситуация ненамного лучше [1]. Все это усугубляется проблемой переполнения существующих полигонов ТБО.



Рис. 1. Морфологический состав ТБО для г. Москвы

Мировое сообщество использует различные технологии переработки твердых бытовых отходов, среди которых можно выделить:

- захоронение на полигонах;

- инсинерация (сжигание);
- рециклинг (вторичная переработка);
- компостирование.

Каждая страна выбирает свою концепцию обращения с отходами. Так, Швеция сжигает больше половины мусора, отправляя на полигоны только 1% отходов. В этой стране находятся наиболее технологичные заводы по преобразованию отходов в энергию. Германия лидирует в области повторного использования отходов. Там рециклингу подвергается около 45 % отходов [2]. Подробная характеристика используемых технологий переработки ТБО в развитых странах приведена в таблице 1.

Таблица 1. Технологии переработки ТБО в развитых странах

Страна	Образование ТБО, чел/кг/год	Переработка ТБО, чел/кг/год	Переработка ТБО, %			
			Полигоны	Инсинерация	Рециклинг	Компостирование
Швеция	460	460	1	51	33	15
Швейцария	689	689	Менее 0,5	50	35	16
Германия	597	597	1	37	45	17
Финляндия	505	505	40	25	22	13
Испания	531	531	58	9	15	18
Франция	526	526	28	35	19	19
Польша	315	255	71	1	11	17

Специалисты промышленной группы «безопасные технологии» К.В. Ладыгин, С.И. Стомпель, Л.В. Грауман выделяют следующие преимущества и недостатки вышеперечисленных подходов. «Наиболее разумным решением является рециклинг. Но для того, чтобы добиться серьезных сдвигов в этой области, необходимо создать индустрию, по мощности не уступающую любой другой, ведь транспортировка отходов и их утилизация по принципу рецикла потребует не меньших, а иногда и больших усилий, чем производство товара и доставка его потребителю. К таким инвестициям Россия сегодня не готова... Достоинством инсинератора является многократное уменьшение объема отходов, что приводит к продлению срока службы полигонов, он полностью обеззараживает отходы, что является требованием СанПиН. Далее тепловую энергию горения целесообразно рекупировать и использовать на обогрев близлежащих объектов. К недостаткам стоит отнести значительные капитальные затраты и необходимость в мощной системе очистки дымовых газов... Биологическое компостирование отходов основано на естественных, но ускоренных реакциях

трансформации мусора при температуре порядка 60°C. Биофракция ТБО в результате реакций в специальном барабане биотермической установки превращается в компост. Однако такая технологическая схема капризна, для ее применения необходима очистка отходов от крупных фрагментов, металлов, стекла, керамики, пластмассы и резины. Кроме того, современные технологии биокомпостирования не позволяют избавиться от солей тяжелых металлов в компосте. Поэтому в отсутствие отдельного сбора бытового мусора выбор ограничен: свалка или инсинератор» [1].

Авторы цитируемой статьи предлагают идеальный современный комплекс по переработке отходов, который, по их мнению, может представлять собой полигон с установленным на нем биореактором для компостирования биологических отходов, инсинератором для медицинских и некоторых других отходов и пиролизической установкой для пластика и шин. В качестве обязательного компонента в этом комплексе должна присутствовать мусоросортировочная станция. Несмотря на тот факт, что в России уже есть успешные примеры строительства подобных комплексов, таких как полигон МАГ-1 в Нижнем Новгороде, на сегодняшний день можно говорить о том, что это скорее исключения из всеобщей проблемной ситуации.

Большинство экспертов в области экологии сходятся во мнении, что уйти от необходимости строительства новых полигонов ТБО в условиях сегодняшней действительности в России нет. К сожалению, Россия не готова к коренному переходу на отдельный сбор отходов, как это принято в странах Европы. Этому есть и объективные причины: подавляющее большинство построенных в советское время домов не оборудованы площадками для размещения контейнеров для отдельного сбора отходов. А идея иметь в каждой кухне четыре отдельных мусорных ведра и сортировать свои бытовые отходы еще не скоро войдет в сознание наших соотечественников. Из этого можно сделать вывод, что ни одна сортировочная станция не даст возможности получить из перемешанных бытовых отходов более 10-15% вторичного сырья. Так, успешно функционирующий мусоросортировочный центр в г. Обнинск Калужской области добывается на сегодняшний день показателя лишь в 2-3% выборки.

Но шаги по совершенствованию в данном вопросе делать, однозначно, стоит. Во-первых, необходимо создавать современные полигоны для захоронения ТБО, что уже успешно реализуется в отдельных регионах страны. Такие полигоны представляют собой сложные инженерные сооружения, изолированные от почвы и грунтов слоями геотекстиля, снабженные системами сбора и отвода фильтрата и образующихся газов. Изжившие себя полигоны необходимо подвергать рекультивации. Достойным примером выступает бывший полигон «Лисья гора», расположенный в 7 км от МКАД в черте города Балашихи, который был преобразован в многофункциональный всесезонный спортивно-горнолыжный комплекс [3].

Следующим этапом должно стать строительство мусоросортировочных центров на базе современных полигонов. Несмотря на их малую производительность, даже малые доли полученного на выходе очищенного вторсырья снижают нагрузку на полигоны. По мнению директора МУП «Полигон» г. Обнинска Д.Ю. Козакова, сортировка ТБО – необходимая и неизбежная стадия развития системного подхода к утилизации отходов. Также сортировка ТБО делает более эффективным следующий этап переработки отходов.

Строительство мусоросжигательных заводов (МСЗ). Бытует мнение, что мусоросжигательные фабрики губят атмосферу и делают жизнь городских жителей абсолютно некомфортной. Однако, по мнению врача по коммунальной гигиене Н.В. Синьковой, размещение МСЗ в черте городов, особенно мегаполисов, является оправданным с моральной, экономической, энергетической и экологической точек зрения. Данной точки зрения придерживается и эксперт ГУ РИНКЦЭ Г.И. Багрянцев. По итогам своих расчетов он приводит следующие сведения: «...выброс СО от легкового транспорта более чем в 300 раз превышает выбросы от мусоросжигательных заводов г. Москвы. Транспорт, вывозящий мусор на свалки, выбрасывает в окружающий воздух даже большее количество окиси углерода, чем все мусоросжигательные заводы. Если бы все отходы направлялись на МСЗ, при выделении полихлорированных диоксинов в количестве 0,0016 мкг/кг отходов, их общая масса составила бы 80 г в год. Если предположить, что в России сгорает открытым способом на свалках и в других местах всего 1% образующихся ТБО, а официальные полигоны не выделяют в природную среду диоксины, тогда результат расчета составит 21 кг в год. Таким образом, сравнение все равно в пользу МСЗ» [4].

Главный редактор журнала «ТБО» О.В. Шевелёва приводит сравнение подходов к переработке отходов в России и Японии (см. табл. 2).

Таблица 2. Показатели обращения с отходами в России и Японии

Показатель	Россия	Япония
Площадь страны, км ²	17 124 442	377 835
Население, млн чел.	143	126
Плотность населения, чел./км ²	8,39	337,16
Образование ТБО, млн т/год	55	45
Образование ТБО кг/чел./день	1,05	0,97
Количество мусоросжигательных заводов, шт.	Около 10	Около 1200
Площадь полигонов, млн м ²	173	1,6
Площадь полигонов, м ² на 1 км ² территории страны	10,17	2,6

Из таблицы видно, что количество населения и отходов, генерируемых им незначительно отличается в Японии от России. Однако в Японии много МСЗ, а в нашей стране их почти вовсе нет. Данная ситуация объясняется тем, что в Японии территории не позволяют размещать множественные полигоны, а также тем, что там существует дефицит природного топлива. В России ситуация противоположная. Наряду с тем, что мест для свалки мусора и природного топлива предостаточно, действующие нормативно-правовые акты не позволяют принимать в единую энергосистему электроэнергию, полученную в ходе сжигания ТБО.

Так или иначе, внедрение любой технологии переработки отходов требует значительных капиталовложений, поэтому, во многих случаях, муниципальные власти не готовы к строительству современных комплексов по обработке ТБО. Однако, уже сегодня можно сказать, что осознание неотложности решения данных экологических проблем существует. Об этом свидетельствует изменение законодательства в области обращения с отходами. Федеральный закон от 29.12.2014 N 458-ФЗ (ред. от 29.06.2015) "О внесении изменений в Федеральный закон "Об отходах производства и потребления", который должен вступить в силу с января 2016 года, призван кардинально изменить принципы управления отходами в РФ.

В заключение отметим, что большинство специалистов в сфере ТБО сходятся во мнении, что наилучшего эффекта можно достичь, при условии комплексного использования технологий сортировки, сжигания и захоронения твердых бытовых отходов. В обозримой перспективе данные технологии, вероятно, будут составлять систему обращения с отходами в России.

Работа выполнена при поддержке РГНФ и Правительства Калужской области (проект № 16-12-40002а/р).

Список литературы

[1]. Ладыгин К.В., Стомпель С.И., Грауман Л.В. Но зачем выбирать? Твердые бытовые отходы, 2014, №9, 18.

[2]. Технологии переработки ТБО странах мира. [Электронный ресурс] URL: <http://www.zerowasteurope.eu/2013/03/recycling-stagnates-in-the-eu-need-to-change-eu-waste-resource-policy/2011-waste-treatment-statistics-eu>(дата обращения 12.09.2015).

Птускин Александр Соломонович - д-р экон. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: aptuskin@mail.ru

Мальцев Николай Евгеньевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Nickolaymaltsev@gmail.com

Аннадурдыев Мурат Шаммыевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: cobra24d71@gmail.com

С.А. Кусачева, М.И. Морозенко, И.И. Сащенко,
М.Е. Сафронова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕШЕНИИ ПРИРОДООХРАННЫХ ЗАДАЧ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Микробный топливный элемент (МТЭЛ) является универсальным устройством, имеющим широкую область применения – от жилищ и промышленных предприятий, характеризующихся образованием отходов, содержащих органические соединения, до труднодоступных районов (включая космические станции), нуждающихся в дополнительных и автономных источниках энергии. Производство электричества, сопряженное с анаэробным окислением органических субстратов, осуществляется в устройствах названных микробиологическими топливными элементами – МТЭЛами (microbiofuelcells). [1]. МТЭЛ - это устройство, превращающее химическую энергию в электрическую. Оно похоже по принципу действия на обычную батарейку, но отличается тем, что для его работы необходима постоянная подача извне веществ для протекания электрохимической реакции. В топливные элементы подаются водород и кислород, а на выходе получают электричество, воду и тепло. [2]. К их достоинствам относится экологическая чистота, надёжность, долговечность и простота эксплуатации. В отличие от обычных аккумуляторов электрохимические преобразователи могут работать практически неограниченное время, пока поступает топливо. Их не надо часами заряжать до полной зарядки. [3]. Более того, сами ячейки могут заряжать АКБ во время стоянки автомобиля с выключенным мотором. Наибольшее распространение в водородомобилях получили топливные ячейки с протонной мембраной (PEMFC) и твердооксидные топливные ячейки (SOFC). [4].

В настоящее время в связи с поиском альтернативных возобновляемых источников энергии много внимания уделяется возможностям использовать МТЭЛы для получения электричества в процессе обработки органических отходов пищевой промышленности, сельского хозяйства, муниципальных сточных вод. Запатентован ряд конструкций МТЭЛов, работающих на сточных водах. [5].

При выборе оптимального варианта комплексной схемы очистки сточных вод основное внимание уделено техническим решениям, позволяющим сократить объем загрязнений, поступающих в поверхностные водоемы, в результате применения прогрессивных методов очистки сточных вод. При выборе методов очистки учтены свойства присутствующих в сточных водах загрязняющих веществ.

В ходе настоящего исследования разработана комплексная технология очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности, образующих органические стоки, с использованием МТЭЛов. Комплексность разработанной технологии заключается в использовании нескольких методов очистки сточных вод, а именно механического и биологического.

В основу комплексной схемы очистки сточных вод положена комбинация легко осуществимых в технологии водоочистки процессов флотации и анаэробного сбраживания.

Схема очистки состоит из следующих сооружений: теплообменник → 8 биореакторов → центрифуги → биофильтра или сушилки осадка. [6].

Предлагаемая установка рассчитана для пивоваренных заводов с объёмов стоков до 56 м³/сутки. Биореактор предназначен для биоутилизации отходов растительного происхождения. После загрузки отходов в биореактор, их утилизация продолжается течение 7 дней. После чего суспензия поступает в центрифугу, где твердая фаза отделяется от жидкой. Твердая отправляется на сушку и гранулирование, чтобы в дальнейшем получить удобрения. Жидкая — на доочистку, после которой её можно использовать повторно, либо в технических целях. [7].

В ходе работ была разработана лабораторная модель устройства МТЭЛа; проведены эксперименты с использованием данной модели с применением двух модификаций мембраны. Получена электрическая энергия из жидких органических субстратов с использованием электрогенных бактерий (показатели получены с использованием активного ила: напряжение – 0,45 В; сила тока – 200 мкА). Показана возможность широкого применения МТЭЛ для получения биоэлектроэнергии с использованием субстратов, содержащих органические соединения.

Был выполнен расчёт экономической эффективности применения технологии очистки содержащих органику сточных вод с получением биоэлектричества.

Результатом расчёта являются следующие данные:

- капитальные затраты на данную технологию составляют 3186000 руб;
- срок окупаемости проекта составит 3,1 года.

На основании полученных данных, можно сделать вывод о целесообразности и рентабельности внедрения данного природоохранного мероприятия. Показана возможность применения МТЭЛов для решения природоохранных задач.

Список литературы:

[1]. A.V. Herring J. *Macromolecular Science (Part C: Polymer Reviews)* 46: 245–296 (2006)

[2]. Tildon H. Glisson Introduction to Circuit Analysis and Design. — Springer, 2011. — P. 768. — ISBN 9789048194421

[3]. Багоцкий В.С., Осетрова Н.В., Скундин А.М.// Электрохимия, 2003.39, №9, с. 1027.

[4]. Kim B.H., Chang J., Jang J.K. et al. Membraneless and mediatorless microbial fuel cell // US Patent Application 20050208343.

[5]. Lin H., Cheng S.L., Logan B.E. Power generation in fedbatch microbial fuel cells as function of ionic strength, temperature and reactor configuration // Environ. Sci. Technol. 2005. V. 39. P.5488-5493.

[6]. Анаэробные биофильтры// Информационный портал [Электронный ресурс] URL: <http://anastasia-myskina.ru/ekologiya/appzachsitgidrosfer/58/4933-anaerobnye-biofiltry.htm>

[7]. Себестоимость продукции// Информационный портал [Электронный ресурс] URL: <http://center-yf.ru/data/economy/Sebestoimost-produkcii.php>

Кусачева Светлана Александровна - канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: safronova2@mail.ru

Морозенко Мария Ивановна - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: morozzenro_mi@mail.ru

Сащенко Игорь Игоревич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: i709@ya.ru

Сафронова Мария Евгеньевна - учащийся МБОУ. E-mail: safronova2@mail.ru

С.А. Кусачева, И.И. Сашенко, М.В. Карук

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОЗДУХА ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Бактериальное загрязнение воздуха жилых, больничных и производственных помещений существенно влияет на заболеваемость людей инфекционными заболеваниями. Атмосферный воздух непригоден для размножения микроорганизмов, так как в нем недостаточно влаги и питательных веществ, а солнечная радиация и высушивание оказывают бактерицидное действие.[1]. Бактерии попадают в воздух в основном из почвы, с поверхности растений и животных, от человека воздушно-капельным путем, с отходами некоторых производств. В воздухе плохо проветриваемых и перенаселенных помещений содержится большое количество микроорганизмов. В основном, это микрофлора дыхательных путей и кожи человека. Биологическими компонентами пыли помещений являются микрофлора (бактерии, вирусы и грибы) верхних дыхательных путей, кожи, микроскопические клещи, споры плесневых грибов. Санитарно-показательными микроорганизмами в воздухе закрытых помещений являются стафилококки, зеленящие стрептококки, а показателями прямой эпидемической опасности – гемолитические стрептококки.[1]

При производстве лекарственных препаратов на основе биологического синтеза работающие могут подвергаться воздействию аэрозоля живых клеток микробов-продуцентов, продуктов метаболизма микроорганизмов и пылевидных конечных продуктов, часто содержащих более 50% белка (например, на заводах, изготавливающих белково-витаминные концентраты). На этапах собственно получения и выделения антибиотиков, а также на заключительных этапах (сушка, фасовка, упаковка) работающие могут подвергаться воздействию пыли антибиотиков. [1]

Нормативов содержания микроорганизмов в воздухе жилых помещений нет. Нормативы бактериальной чистоты производственных помещений (больниц, аптек) разработаны в зависимости от их функционального назначения с учетом интенсивности бактериальной обсемененности и риска возникновения внутрибольничных инфекций. В соответствии с нормативными документами (СанПиН 2.1.3.1375-03) бактериальную чистоту воздуха оценивают дифференцированно по общему количеству микроорганизмов в 1 м³ воздуха, а в помещениях классов А, Б, и В необходимо контролировать наличие колоний *Staphylococcus aureus*, которые не должны определяться в 1 м³ воздуха, и плесневых и дрожжевых грибов, которые не должны определяться в 1 дм³ воздуха.[1]

Для определения микробного числа воздуха в помещениях применяют следующие методы: *Седиментационный метод* основан на принципе осаждения (седиментации). Две чашки Петри с питательным агаром оставляют открытыми в течение 60 минут, после чего инкубируют при 37⁰ С 1 сутки. Результаты оценивают по суммарному числу колоний, выросших в обеих чашках: менее 250 колоний – воздух чистый, 250-500 – загрязненный в средней степени, более 500 – загрязненный[1].

Седиментационный метод осуществляют также с применением формулы В.Л. Омелянского. При этом Чашки Петри с застывшим агаром выставляют в открытом виде в помещении на различные сроки (от 15 минут до 1,5 часов). Затем чашки закрывают и ставят в термостат и производят инкубацию посевов. Для пересчёта количества микробов на 1 м³ пользуются формулой Омелянского, который считал, что в течение 5ти-минутной экспозиции на поверхность плотной питательной среды 100 см² оседает столько микробов, сколько их находится в 10 л воздуха (1:100 м³). Им была составлена соответствующая таблица расчёта, пользуясь которой можно высчитать общее количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха[2]. Там приводятся постоянные множители, на которые умножают полученные количества колоний в зависимости от диаметра и площади чашки, где производится посев.

Аспирационный метод – аспирация определенного объема воздуха с высеванием содержащихся в нем бактерий на поверхность питательной среды с применением щелевого прибора Кротова.

Нормы ОМЧ: Операционные до начала работы – не более 500; Операционные во время работы – не более 1000; Родильные комнаты – не более 1000; Палаты для недоношенных детей – не более 750[1].

Таблица 1. Оценка чистоты воздуха по бактериологическим показателям воздуха аптечных помещений в разные периоды года[1]

Чистота воздуха	Содержание микроорганизмов в 1 м ³ воздуха			
	Летний период (апрель-сентябрь)		Зимний период (октябрь-март)	
	Всего микроорганизмов		Всего микроорганизмов	
Чистый	<3500		<5000	
Умеренно загрязненный	3500-5000		5000-7000	
Загрязненный	>5000		>7000	

В настоящем исследовании была проведена оценка микробной загрязненности воздуха торгово-развлекательного центра «21 век».

Определение ОМЧ проводилось по формуле Омелянского. Время экспозиции – 15 мин. Площадь чашки Петри – 71 кв. см. Термостатирование выполнялось в течение 24 часов при температуре 37С.

Результаты работы приведены в таблице 2.

Таблица 2. Содержание микроорганизмов в воздухе
торгово-развлекательного центра «21 век»

Показатели ОМЧ	
4762	21 век, 1 этаж
4380	21 век, 2 этаж
2576	21 век, 3 этаж
2476	Улица

Общее число колоний в 1 м³ воздуха в помещении позволяет считать воздух этого помещения сравнительно чистым.

Для уменьшения уровня микробного загрязнения воздуха в помещении необходимо установить УФ-облучатели открытого (неэкранированного) или закрытого (экранированного) типа для достижения требуемой мощности. [3,4]

Список литературы:

[1]. Гигиеническая оценка микробного загрязнения воздуха помещений : учебно-методическое пособие / Л. А. Николаева ; ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России. – Иркутск : ИГМУ, 2013. – 20 с.

[2]. Лыков И.Н., Шестакова Г.А. Теоретические и практические основы общей микробиологии. - Калуга, 2002. - 212 с. 3. Румянцев Г. И. Гигиена : учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ГЭОТАР МЕДИА, 2009. – 608 с.

[3]. Методические указания МУ 4.2.734-99 «Микробиологический мониторинг производственной среды».

[4]. www.rospotrebnadzor.ru – Официальный сайт Роспотребнадзора. Новости гигиены и эпидемиологии.

Кусачева Светлана Александровна - канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: safronova2@mail.ru

Сащенко Игорь Игоревич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: i709@ya.ru

Карук Марина Валентиновна - учащийся МБОУ. E-mail: Bartimeyss@gmail.com

С.А. Кусачева, О.В. Кузнецова, Н.Н. Бакутина, А.Г. Егорова

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Проблема оценки и повышения качества питьевой воды является в настоящее время крайне актуальной. Существующие технологии водоподготовки в настоящее время не всегда соответствуют современным требованиям экологической безопасности, а оборудование очистных сооружений часто характеризуется физическим и моральным износом.

В системе оценки качества воды большое значение имеет оценка микробиологических показателей, в частности, определение общего микробного числа. Общее микробное число (ОМЧ) – это количественный показатель, отражающий общее содержание мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в 1 мл исследуемой воды. [1].

ОМЧ-37°С является важным интегральным санитарным показателем, который позволяет оценить общую микробную обсемененность водного объекта. Показатель ОМЧ широко используется для оперативного контроля систем водоподготовки и дезинфекции. Значение ОМЧ выражается в КОЕ/мл и методически представляет собой общее число колоний гетеротрофных бактерий, вырастающих в течение 24 ч при температуре 37°С (либо при температуре 22°С в течение 72 ч) при посеве 1 мл воды на МПА [2,3].

Норматив ОМЧ-37°С на питьевую воду централизованного водоснабжения допускает не более 50 КОЕ/мл [4], нецентрализованного – до 100 КОЕ/мл [5]. Превышение норматива ОМЧ в распределительных системах свидетельствует о нарушениях в системе водоподготовки, возможном застое или развитии биопленок.

Целью настоящей работы явилась оценка микробиологической загрязненности воды систем централизованного водоснабжения окского водозабора г. Калуги.

Была выполнена оценка ОМЧ в водопроводной и кипяченой воде. Опыт проведен в трехкратной повторности. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели ОМЧ в водопроводной и кипяченой воде

ОМЧ	Водопроводная вода	Кипяченая вода
		55 КОЕ/мл

Согласно полученным данным, имеется крайне незначительное превышение существующих нормативов качества питьевой воды по показателям микробиологической загрязненности.

Список литературы:

[1]. <http://mibio.ru/contents.php?id=2536>

[2]. Методические указания МУК 4.2.2884-11. Методы микробиологического контроля объектов окружающей среды и пищевых продуктов с использованием петрифильмов. М.: ФЦ Роспотребнадзора. 2011. 24 с. 3. Соколов Д.М., Соколов М.С. Микробиологический контроль с использованием петрифильмов // Молочная промышленность. 2012. № 2. С. 36-37.

Кусачева Светлана Александровна - канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: safronova2@mail.ru

Кузнецова Ольга Владимировна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: natashamiy@yandex.ru

Бакутина Наталья Николаевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: natashamiy@yandex.ru

Егорова Анастасия Григорьевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: safronova2@mail.ru

С.А. Кусачева, К.А. Василевская

ИССЛЕДОВАНИЕ СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОВ ТЕМПЕРАМЕНТА УЧАЩИХСЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время проблема оценки рабочих мест и помещений в системе обеспечения безопасности жизнедеятельности является достаточно актуальной. Каждому человеку необходимы благоприятные условия для жизни и трудовой деятельности, начиная от собственной комнаты и заканчивая городским ландшафтом, архитектурой. Большое значение имеет рабочее место индивида. Существует ряд методик оценки благоприятности и безопасности трудовой среды, соответствующих требованиям нормативных документов. Однако до сих пор не придается значения психологическому восприятию рабочих и учебных помещений, а именно оно часто лежит в основе успешного межличностного взаимодействия и, в итоге, успеха трудовой и учебной деятельности. В данной работе представлены результаты исследования субъективного восприятия учебных помещений в школе учащимися различных типов темперамента.

Темперамент – это индивидуальные свойства психики, определяющие динамику психической деятельности человека. Выделяют 4 типа темперамента: Сангвиник, холерик, флегматик, меланхолик.[1]. Большое значение на индивидуальное восприятие учебных помещений играет цвет стен. У каждого темперамента есть свой «любимый» цвет:

Красный – цвет энергии и возбуждения. Его предпочитают холерики. Синий – цвет спокойствия и умиротворённости – любимый цвет меланхоликов. Жёлтый выражает оптимизм, силу духа. (Сангвиники). Зелёный – выражает нужду в контроле и уверенность. (Флегматики) [2]

Также на индивидуальное восприятие класса влияет способ общения преподавателя с учениками. Таких способов несколько:

а) Общение – дистанция. В системе отношений педагога и ученика лежит дистанция. Она является не естественной, а вынужденной и лежит в основе отношений. Приводит к утверждению авторитарного принципа и низким результатам знаний.

б) Общение – устрашение. Самая бесперспективная методика. Идёт ориентация не на то, что надо делать ученику, а на то, что ему нельзя делать.

в) Игровое общение. Завоевание ложного дешёвого авторитета у детей. Такое общение вызвано острым желанием понравиться классу и плохой педагогической подготовкой.

Всеми этими способами общения пользуются преимущественно молодые и неопытные учителя, у которых присутствует желание стать «сильным» педагогом, но при этом они обладают низкой подготовкой.

г) Общение на основе совместной творческой деятельности. Педагог с одной стороны – товарищ и наставник, с другой – соучастник совместной деятельности. Эта методика общения говорит о высоком профессионализме преподавателя. Пользуясь ею, он создаёт атмосферу дружелюбности.

д) Авторитарный подход. Преподаватель часто прибегает к приказному тону и делает резкие замечания. Обилие нетактичных выпадов в адрес одних и беспричинное восхваление других. Педагог указывает не только на цель работы, но и на способы её выполнения. Неверие преподавателя в успех учеников. Этот подход снижает деятельностную мотивацию.

е) Демократический подход. Объективная оценка деятельности учеников. Группа принимает активное участие в решении хода работы. У учеников развивается уверенность в себе, стимулируется интерес к работе. Преподаватель вникает в личные дела и проблемы группы.

ж) Манипулятивный подход. Снятие с преподавателя ответственности. Результат его деятельности - наименьший объём выполненной работы и наихудшее качество. Ученики редко бывают довольными работой такого педагога. В зависимости от обстановки и настроения учитель подстраивается под любой другой тип общения.[3]

Для исследования мы провели тестирование по методике «Формула темперамента Белова» [4], в результате мы выбрали по 5 человек каждого типа темперамента из числа учащихся. Они из 80 характерных признаков выбирали наиболее подходящие к своему характеру, в результате на каждого индивида была составлена формула темперамента и выявлен преобладающий.

Выбрано шесть учебных помещений:

1) Кабинет биологии. Цвет стен – светло-зелёный. Способ общения преподавателя – игровое общение.

2) Кабинет географии. Цвет стен – светло-синий. Способ общения преподавателя – манипулятивный.

3) Кабинет математики. Цвет стен – жёлтый. Способ общения преподавателя – общение на основе общей творческой деятельности.

4) Кабинет обществознания. Цвет стен – ярко-синий. Способ общения преподавателя – демократический.

5) Кабинет химии. Цвет стен – светло-зелёный. Способ общения преподавателя – манипулятивный.

6) Кабинет литературы. Цвет стен – светло-зелёный. Способ общения преподавателя – демократический.

Шкала оценки привлекательности помещений была десятибалльной. Было оценено 3 критерия помещений: привлекательность; интерес, вызванный классом; комфортность. Из этих данных мы вычислили среднее арифметическое.

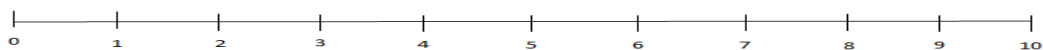


Рис.1.Шкала оценки

Ниже представлены данные восприятия учебных помещений представителями разных типов темперамента:

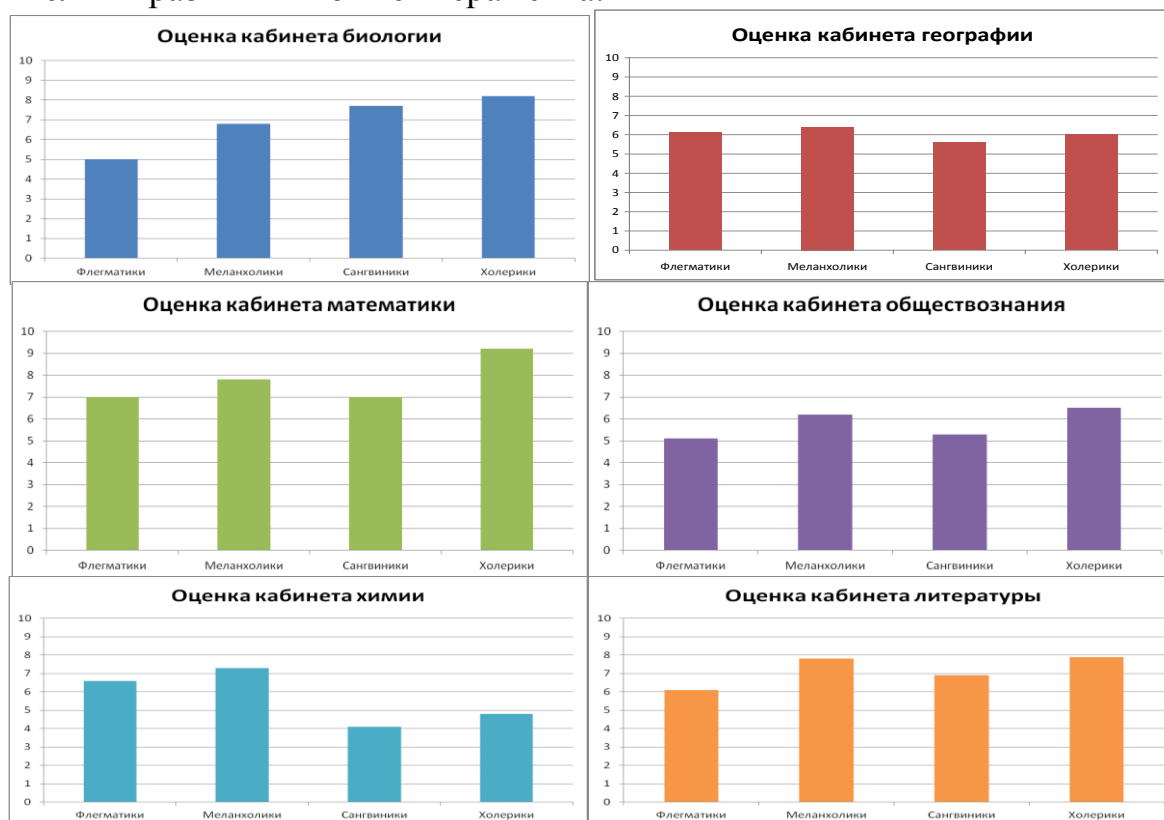


Рис. 2. Показатели привлекательности учебных помещений

Зелёный – цвет флегматиков, но помещение с зелёными стенами (кабинет биологии) они оценили ниже всех. Выше всех оценили его холерики. Предположительно, это связано с методом преподавания учителя, который является игровым. Он ближе к подвижным, активным холерикам и сангвиникам, которые и дают высокие оценки. Флегматикам необходима системность, которой они не наблюдают. Меланхолики высоко оценивают помещение, потому что рядом с шумными холериками и сангвиниками они могут тихо сесть и «слиться с природой».

Наивысшую оценку дают меланхолики классу со светло-синими стенами (кабинет географии), ведь это их «любимый» цвет. Остальные дают среднюю оценку из-за негативного отношения к методу обучения преподавателя, некомфортного интерьера.

Сангвиники, предпочитающие жёлтый цвет, дают неплохую оценку кабинету математики. Но самую высокую оценку дают холерики. Способ общения с учениками преподавателя – общение на основе совместной творческой деятельности. Учитель – человек, который делится с классом своими чувствами и мыслями, эмоциональный. Такое поведение хорошо оценивают холерики. Меланхоликам нравится это помещение, потому что педагог создаёт атмосферу удобную и для них, всегда может подойти и помочь индивидуально.

Меланхолики дают высокую оценку классу с ярко-синими стенами – кабинету общественнознания, как говорилось выше – этот цвет наиболее предпочитаем ими. Флегматиков приводит в дискомфорт такой яркий цвет, свойства их темперамента не позволяют им быстро отвлечься от того, что их раздражает или приводит в неудобство. Сангвиники предпочитают более тёплые цвета, в частности, жёлтый, поэтому помещение с синими стенами они высоко оценить не могут. Самую высокую оценку дают холерики. Скорее всего, это связано с методом общения преподавателя. Он в меру эмоционален, всегда старается установить контакт с группой, как раз это ценят холерики.

Достаточно высокие оценки кабинету со светло-зелёными стенами (кабинет химии) дают флегматики и меланхолики. Флегматики оценивают так помещение из-за цвета, который близок им – зелёный. Метод общения преподавателя – манипулятивный. Характер сангвиников и холериков не позволяет им хорошо оценить такую методику, которая вполне подходит для меланхоликов.

Холерики выше всех оценивают класс со светло-зелёными стенами (кабинет литературы), несмотря на то, что это цвет флегматиков. Характер преподавателя ближе к холерическому типу, поэтому он быстро устанавливает контакт с учениками-холериками, которые дали наивысшую оценку помещению. Но это не подходит флегматикам с их каменным спокойствием и медлительностью. Педагог дружелюбен и настроен на общение, которое ценят сангвиники. Они дали неплохую оценку помещению. Также во время уроков литературы учитель настраивает на философский лад учеников, который по нраву меланхоликам, оценившим класс почти как холерики.

Таким образом, установлено, что особенности восприятия учебных помещений учащимися зависят от типа темперамента. Полученные данные могут быть использованы для конкретизации и расширения методик оценки рабочих мест.

Список литературы:

- [1]. Основы общей психологии - СПб: Издательство «Питер», 2000 - 712 с.
- [2]. О.С. Гребенюк, Общая педагогика: Курс лекций / Калинингр. ун-т. Калининград, 1996. - 107 с.
- [3]. Зимняя И. А. Педагогическая психология. Учебник для вузов. Изд. второе, доп., испр. и перераб. — М.: Издательская корпорация «Логос», 2000. — 384 с.
- [4]. http://limnoria.narod.ru/Test_Belova.htm

Кусачева Светлана Александровна - канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: safronova2@mail.ru

Василевская Кристина Александровна - учащийся МБОУ. E-mail: kr_vasilevskaya@mail.ru

В.Д. Шашкина, К.В. Бочарова, А.А. Хролынцев, И.Г. Шемель

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОГО ПАТРОНА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. Водопроводная вода в разных городах нашей страны значительно отличается по качеству, поскольку используются различные природные источники. Показатели меняются в течение года по сезонам и иногда в течение суток. Потребители повсеместно используют различные фильтрационные системы, которые предназначены для очистки воды. Подбор системы фильтрации, универсально подходящей как для очистки воды, используемой в быту, так и для очистки различных жидкостей на производствах, возможен благодаря большому количеству разновидностей конструкций фильтров и материалов для их производства [1].

При большом разнообразии фильтров их объединяет первая ступень—механическая очистка от крупных частиц. Реализация данного типа очистки значительно варьируется, но в последнее время доминирующими фильтрующими материалами с высокими задерживающими защитными свойствами от крупных взвесей являются полимеры, в т. ч. полипропилен. Крупным поставщиком фильтров на основе полипропилена для различных отраслей народного хозяйства в РФ и за рубежом является АО «Фильтр» (Товарково, Калужская область). Целью данной работы явилось изучение фильтрационных свойств одного из видов продукции этого предприятия.

Экспериментальная часть. Для эксперимента был выбран фильтрующий элемент ФП.ПТ-1 без адаптера со стандартными характеристикам (рис.1). Полипропилен обладает высокой устойчивостью к воздействию бактерий и химикатов. Полипропиленовые волокна не приносят в воду дополнительных привкусов, запахов и окрашенности.

Таблица 1. Характеристики фильтрующего элемента

Тип фильтрующего элемента	Габаритные размеры, мм			Рабочая длина, мм	Производительность по воде (м ³ /час) при перепаде давления 0,01 МПа для фильтрующих элементов с удерживающей способностью					
	L	D	d		0,5 мкм	1,0 мкм	5,0 мкм	10,0 мкм	20,0 мкм	50 мкм
ФП.ПТ-1	250	66(61)	26,2	250	0,2	0,25	0,8	1,3	1,8	3,5

Фильтрующие элементы являются элементами патронного типа на основе непрерывного полипропиленового волокна, связанного термическим способом. Особенностью фильтрующего элемента является переменная структура по сечению фильтрующего материала, что обуславливается методом изготовления. Мелкие полипропиленовые шарики нагревают до температуры 250°C и под давлением распыляют на вращающийся вал, который наматывает слой полипропилена на перфорированную заготовку [2]. Давление изменяют в процессе намотки от 0,030 до 0,008 Мпа (рис.1). Плотность волокон возрастает от внешней поверхности картриджа к внутренней.

Таким образом, фильтрующий элемент представляет собой многослойную цилиндрическую конструкцию из полипропиленовых волокон с повышенной степенью отделения частиц по слоям фильтроэлемента за счет изменения плотности упаковки и диаметра волокон [3]. Это обеспечивает постепенную фильтрацию сначала более крупных, а затем более мелких частиц, благодаря чему картридж служит намного дольше - по сравнению с картриджами, имеющими однородную структуру.

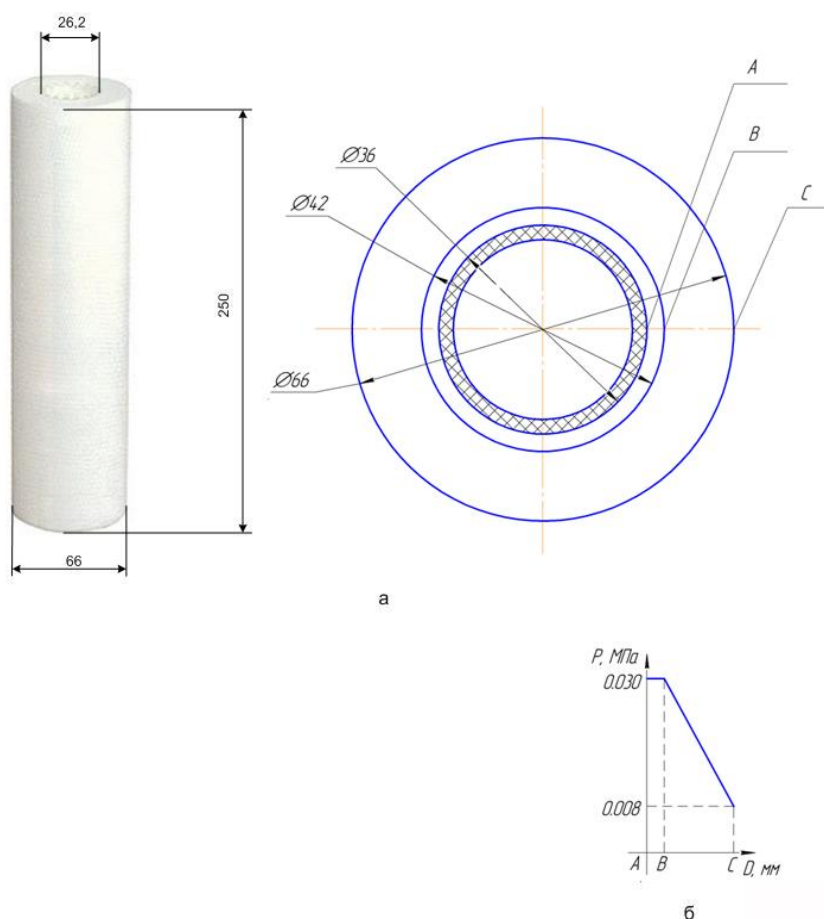


Рис. 1. Схема фильтрующего элемента (а) и зависимость давления распыления от диаметра (б)

Для исследования изменения эффективности фильтрующего элемента был использован стенд, состоящий из системы испытания фильтрующего элемента и системы введения загрязнителя [4] (рисунок 2).

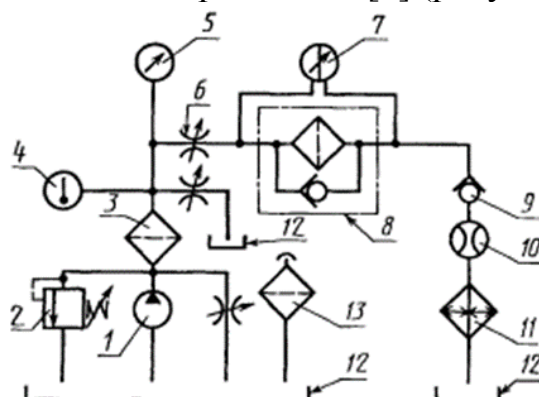


Рис. 2. Схема стенда для проверки гидравлической характеристики фильтра
 1 - насос; 2 - предохранительный гидроклапан; 3 - технологический фильтр; 4 - термометр; 5 - манометр; 6 - дроссель; 7 - манометр дифференциальный; 8 - фильтр испытуемый; 9 - обратный клапан; 10 - расходомер; 11 - теплообменный аппарат; 12 - гидробак; 13 – сапун

Степень извлечения частиц из водных сред исследовали методом «введено–найдено» на модельных смесях. Содержание примесей контролировали во входящем и выходящем потоках микроскопическим методом, использовали микроскоп марки Celestron с LCD-экраном PentaView (степень увеличения – $\times 400$).

В первом случае через фильтроэлемент пропусклась технически чистая вода, в которой было определено наличие только биообъектов микроскопических размеров (рис.3а), с помощью расходомера через равные промежутки времени замерялись падение давлений и расход воды на выходе из фильтрующего элемента.

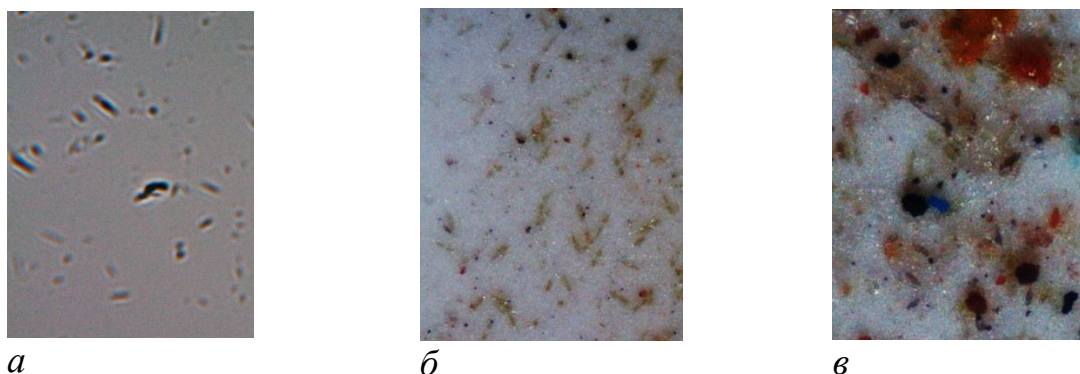


Рис. 3. Микрофото модельных образцов воды
 а – вода без механических примесей, б – вода с примесью кварцевого песка, в – вода с примесью кварцевого песка и глины

Во втором случае в качестве загрязнителя воды использовался кварцевый песок (рис.3б, в – без примеси и с примесью глины). Модельный раствор проходил через исследуемый фильтрующий элемент, визуально контролировали прозрачность воды на выходе. Через равные промежутки времени, аналогично с вышеописанным опытом, замерялся расход жидкости, падение давлений, а также отбирались пробы для определения качества фильтрации.

Обсуждение полученных результатов. Анализ полученных результатов свидетельствует о различии характера фильтрации модельных растворов разной степени загрязненности. Для опыта с чистой водой не было замечено значительной разницы между значениями расхода (2,9-3,0 м³/час) и падений давлений (не более 0,01 МПа), полученными в эксперименте.

Для опыта с водой, загрязненной песком, отмечено, что с течением времени как значения расхода (потери до 40%), так и качество фильтрации падают. Вода, пропущенная через фильтр, не имеет исходной прозрачности. В то же время значение падения давления увеличивается в аналогичных соотношениях. Это явление объясняется постепенным скапливанием загрязнителя, препятствующего дальнейшему прохождению воды через волокно, в слоях фильтрующего элемента.

Для оценки удерживающей способности было рассчитано распределение пор фильтроматериала (рис.4) в средней части фильтрующего патрона – слоя 51мм, полученного путем среза. Для этого вписывали на микрофото в поры окружности различных радиусов и проводили подсчет вписанных фигур по усредненным размерам. Полученные значения (рис.5) удовлетворительно согласуются с паспортными данными по порам средних размеров (5-20 мкм).

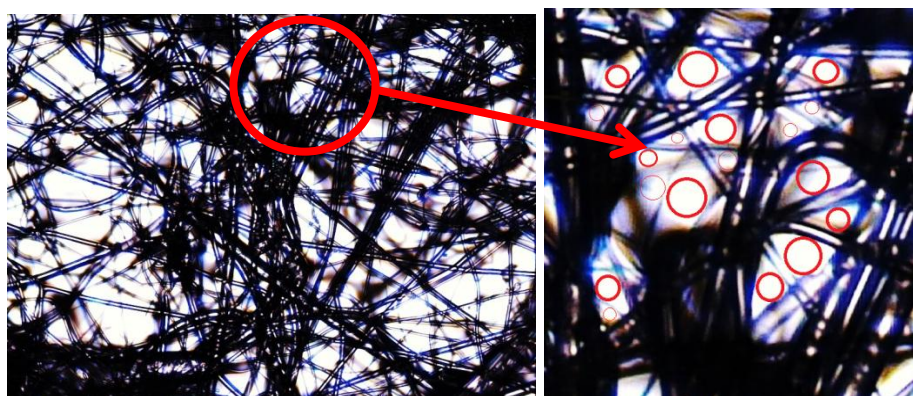


Рис. 4. Полипропиленовые волокна фильтрующего элемента

Полученные значения (рис.5) удовлетворительно согласуются с паспортными данными по порам средних размеров (5-20 мкм).

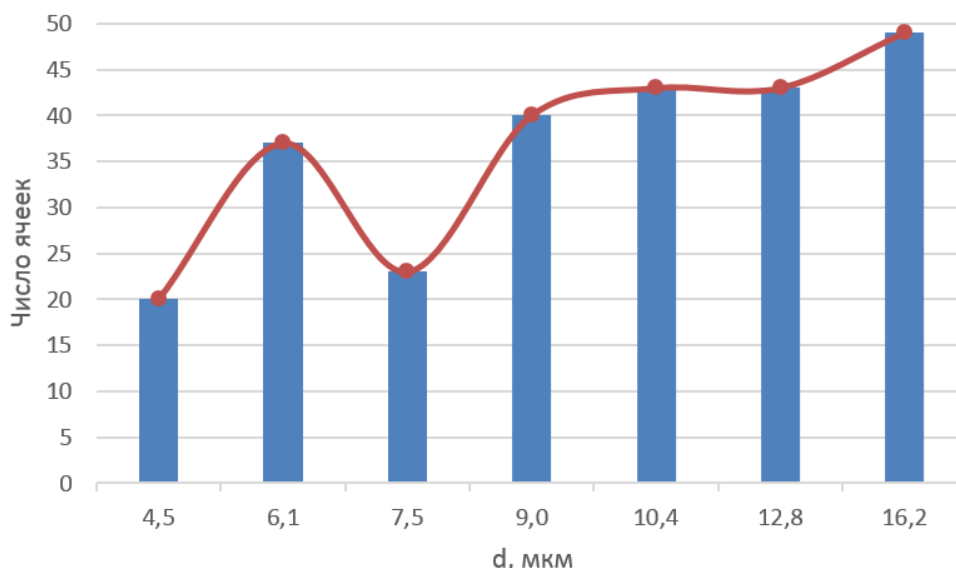


Рис. 5. Кривая количественного распределения пор по диаметрам

Выводы. Проведенные исследования позволили установить:

- Регулируемое изменение пористости глубинного фильтрующего слоя, создаваемого в процессе изготовления фильтропатрона, позволяет проводить фильтрацию в широком диапазоне с эффективностью удерживания частиц от 0,5 до 70 мкм.
- При пропускании модельных растворов через фильтр были подтверждены заявленные характеристики фильтрующих патронов по производительности пропуска воды через фильтрующий элемент.
- Крупные механические включения значительно снижают пропускную способность воды через фильтр из-за засорения фильтрующего элемента.
- Паспортные данные по срокам эксплуатации рассчитаны на средние параметры загрязненности воды, не всегда соответствуют конкретному качеству исходной воды. Необходимо делать пластмассовый корпус для фильтрующих патронов прозрачным, чтобы потребитель имел возможность визуально контролировать степень загрязнения и не допускал обратного проскока загрязнений. Важно отметить, что именно увеличение срока службы при сохранении прежней эффективности является одной из основных целей, стоящих перед проектировщиками фильтров.

Список литературы

- [1]. Сиволобова Н.О. Очистка сточных вод методом фильтрации: Методические указания к лабораторной работе по курсу «Методы очистки газов и сточных вод». Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. –24 с.

[2]. Фильтрующие элементы и оборудование для очистки жидкостей / ЗАО «Фильтр» /Каталог продукции[Электронный ресурс] URL: <http://www.ftov.ru/catalog/voda/consumables/> (Дата обращения 07.10.15)[3]. Катаяма Такаси, Ивасаки Йосихиро, Нимияма Масаказу (Япония). Полипропиленовые волокна, способы их получения и их применение. Патент №2457290 Российская Федерация, опубл. 27.07.2012, бюл. №21, 96 с.

[4]. ГОСТ Р 50554-93. Промышленная чистота. Фильтры и фильтрующие элементы. Методы испытаний. Москва, Госстандарт России, 1994, 19 с.

Шашкина Валентина Дмитриевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shashkinavalya@rambler.ru

Бочарова Ксения Владимировна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: bocharova.kv@gmail.com

Хролынцев Антон Александрович – ведущий инженер-конструктор АО "Фильтр". E-mail: antonische_x@mail.ru

Шмель Ирина Геннадьевна – старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@mail.ru

С.Н. Никулина, Е.И. Семенова, М.С. Горбачева, Ю.М. Жукова

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ В КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время одной из важных проблем города Калуги является отсутствие современного подхода к сбору, транспортировке, переработке и утилизации твердых бытовых отходов.

Утилизация ТБО в Калужской области сводится к вывозу всей массы отходов на полигоны, большинство из которых уже исчерпали свой ресурс и не соответствуют санитарно-экологическим требованиям [1].

Полигон ТБО с технической точки зрения наиболее простой и наименее затратный метод утилизации отходов. Однако защита окружающей среды в данном случае обеспечивается всего лишь изоляцией отходов. При этом безвозвратно и бесполезно теряются многие ценные для общества вещества и компоненты.

Учитывая все достоинства и недостатки полигонов, можно сделать вывод, что этот метод утилизации ТБО на данном этапе развития общества и промышленности себя исчерпал.

В связи с этим назрела необходимость создания экотехнопарка в Калужской области.

Наиболее основным компонентом всего процесса переработки и утилизации ТБО является сбор отходов. ТБО неоднородны по своему составу. Поэтому важна правильная организация действий по минимизации количества отходов, поступающих на сортировочную линию завода. Они могут быть решены за счёт предварительного покомпонентного сбора ресурсов, пригодных для вторичного использования, что достигается путем организации пунктов приема макулатуры, пластика, бутылок и стеклобоя.

В Калуге имеются частные фирмы по сбору вторсырья, но их деятельность направлена в основном на прием отходов от организаций и предприятий, поэтому необходимо создать государственные пункты приема, которые могли бы принимать утильсырье от местного населения.

Необходимо постепенное обеспечение населения контейнерами разных цветов для раздельного сбора мусора во дворах, на них следует поместить подробную инструкцию о том, какой именно мусор можно выбрасывать в каждый из контейнеров, а также информировать население о преимуществах раздельного сбора мусора путем привлечения внимания посредством публикации в СМИ. Мы рассмотрели все имеющиеся методы переработки ТБО и выявили наиболее эффективные и экономически выгодные.

Следующим шагом в цепочке управления ТБО является сортировка на мусороперерабатывающем комплексе.

Сортировка позволит обеспечить вторичную переработку многих ценных компонентов, содержащихся в отходах:

- Переработка макулатуры для последующего вторичного применения в изготовлении бумаги и картона.
- Переработка стекла, при которой происходит измельчение стеклобоя, и его переплавка в печах для дальнейшего использования при производстве различной стеклянной продукции.
- Переработка пластмасс заключается в их измельчении, промывке и сушке. После плавления гранулят возможно применять для получения вторичной продукции[2].

Для переработки органической части отходов может применяться компостирование. Основой метода являются биологические процессы разложения органических веществ, содержащихся в отходах, в результате жизнедеятельности микроорганизмов[3].

С экологической точки зрения наиболее перспективной является технология плазменной газификации, позволяющая получать тепловую и электрическую энергию из отходов. В процессе плазменной газификации отходы подаются в бак реактора, где присутствует высокотемпературная плазма, создаваемая электрическим способом. Плазменная газификация может использоваться для переработки не подлежащих вторичному использованию отходов в энергоноситель синтез-газ с высоким содержанием водорода.

Использование полигонов ТБО, как метода утилизации, себя исчерпало. Необходимо использование современных методов обращения с отходами, включающих, прежде всего, отдельный сбор отходов. Что станет возможным только при воспитании у населения культуры утилизации мусора.

Введение в эксплуатацию мусоросортировочного комплекса – это первый шаг на пути перехода города к цивилизованному процессу сбора и переработке твердых бытовых отходов, а также к улучшению экологической ситуации.

Литература

[1]. Дарулис П. В. Отходы областного города. Сбор и утилизация. Смоленск, Изд-во «Смядынь», 2000, с. 520.

[2]. Гринин А.С. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка. Москва, Изд-во «ФАИР-ПРЕСС», 2002, с. 332.

[3]. Витковская С. Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота. СПб, АФИ, 2011, с. 132.

Никулина Светлана Николаевна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voinsveta579@mail.ru

Семенова Екатерина Ивановна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vip.ka95@bk.ru

Горбачева Марина Сергеевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vip.ka95@bk.ru

Жукова Юлия Михайловна – канд. техн. наук, зам. зав. каф. по научной работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zjuliam@hotmail.com

Ю.М. Жукова, В.Е. Короткова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРЕДИНВЕСТИЦИОННОЙ СТАДИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

По мере того, как основные приоритеты экологической стратегии России меняются с природоохранных на предупреждающие, многие финансовые институты включают процедуры экологического обоснования (ЭО) проектов, в процесс выработки решений, уделяя при этом особое внимание:

- выявлению экологических проблем на ранних стадиях рассмотрения проектов;
- включению в проекты мероприятий, направленных на улучшение качества окружающей среды;
- разработке мероприятий по предотвращению, уменьшению и компенсации экологического ущерба и риска. [1]

Экологическая оценка обосновывающей документации, представляемой для принятия финансового решения, позволяет исключить неопределенности относительно экологических аспектов намечаемой деятельности. Главной задачей является выявление проблем, связанных с качеством окружающей среды на территории реализации проекта и возможностью возникновения экологических рисков.

В этих условиях ответственность инициатора намечаемой хозяйственной деятельности, за неблагоприятные экологические и связанные с ними социальные, экономические и другие последствия повышается. Поэтому, прежде чем принять решение о вложении инвестиций в промышленный объект, инвестор должен убедиться, что в проектных решениях учитывается экологический фактор.

Поэтому на данной стадии необходимо произвести отбор тех компонентов окружающей среды и характеристик источника воздействия, которые определяют общий уровень воздействия, т.е. ранжирование показателей, характеризующих как источник воздействия, так и объекты, подверженные воздействию.

Однако, выявив все возможные воздействия, сразу оценить величину и значимость для каждого из них далеко не всегда представляется возможным. Это связано с необходимостью большого объема исследований и, соответственно, значительными затратами, отсутствием методик даже качественной оценки.

Одни из методов может стать метод балльных оценок.

Баллы, приписываемые исходным показателям, могут быть получены разными способами: либо на основе предварительных соглашений, либо на основе ранжирования значений показателей. [2]

Как известно, воздействие имеет как пространственные, так и временные границы и может быть охарактеризовано через изменение параметров состояния окружающей среды в течение определенного периода и в пределах определенной территории, являющееся результатом планируемой деятельности. [3]

Оценка происходит по локальному, ограниченному, местному и региональному уровню воздействия. Особое внимание уделяется локальному и ограниченному уровням воздействия. Так же уделяется внимание уязвимым ресурсам.

Значимость антропогенных нарушений природной среды на всех уровнях оценивается по следующим параметрам:

- пространственный масштаб;
- временной масштаб;
- интенсивность.

Сопоставление значений степени воздействия по каждому параметру оценивается по бальной системе по разработанным критериям. [3]

В данной работе проведена оценка воздействия на атмосферный воздух предприятия по производству извести, и осуществлена оценка значимости в соответствии Методологическими аспектами оценки воздействия на природную и социально-экономическую среду (Казахское агентство прикладной экологии).

Для оценки негативных воздействий были использованы три степени воздействия на атмосферный воздух на границе санитарно-защитной зоны объекта, равной 500 м:

- низкое – значительно ниже предельно допустимых концентраций ($\leq 0,5$ ПДК);
- умеренное – не превышает предельно допустимые концентрации ($0,5 < \text{ПДК} \leq 1,0$);
- значительное – превышает предельно допустимые концентрации (> 1 ПДК).

Анализ результатов расчетов рассеивания показал, что максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, при неблагоприятных метеорологических условиях:

- значительно ниже санитарно-гигиенических нормативов по 14 веществам и 4 группа $\leq 0,1$ ПДК;
- по 6 веществам и 3 группам суммации выбросы минимальны $\leq 0,5$ ПДК;
- по 4 веществам и 3 группам суммации выбросы загрязняющих веществ в пределах норм ПДК без учета фона ≤ 1 .

Определение значимости воздействия проводилось только для тех веществ, которые удовлетворяют критерию $\geq 0,1$ ПДК.

Определение пространственного масштаба воздействий проводится на анализе технических решений, математического моделирования, или на основании экспертных оценок и представлено в таблице 1.[3]

Таблица 1. Шкала оценки пространственного масштаба (площади) воздействия

Градация	Пространственные границы воздействия (км ² или км)		Балл
	Локальное воздействие	площадь воздействия до 1 км ²	
Ограниченное воздействие	площадь воздействия до 10 км ²	воздействие на удалении до 1 км от объекта	2
Местное (территориальное) воздействие	площадь воздействия от 10 до 100 км ²	воздействие на удалении от 1 до 10 км от объекта	3
Региональное воздействие	площадь воздействия более 100 км ²	воздействие на удалении более 10 км от объекта	4

Для оксида кальция площадь низкой степени воздействия составляет 1,52 км², принимаем 2 балла; умеренной – 0,1 км², принимаем 1 балл; значительной – 0 км², принимаем 0 баллов. Для диоксида азота площадь низкой степени воздействия составляет 3,2 км², принимаем 2 балла; умеренной – 1,08 км², принимаем 1 балл; значительной – 0,13 км², принимаем 1 балл. Для оксида азота площадь низкой степени воздействия составляет 0,84 км², принимаем 1 балл; умеренной и значительной – 0 м², принимаем по 0 баллов. Для оксида углерода площади низкой, умеренной и значительной степеней воздействия составляют 0 м², принимаем по 0 баллов. Для неорганической пыли, содержащей менее 20% оксида кремния, площадь низкой степени воздействия составляет 3,3 м², принимаем 2 балла; умеренной – 1,09 км², принимаем 1 балл; значительной – 0,135 км², принимаем 1 балл. Для группы суммации (диоксид азота и серы диоксид) площадь низкой степени воздействия составляет 3,2 км², принимаем 2 балла; умеренной – 0,67 км², принимаем 1 балл; значительной – 0 м², принимаем 0 баллов.

Средний балл степени воздействия для всех веществ определяется по формуле:

$$Q_s = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Si}}{n}$$

Средний балл воздействия для всех веществ составит:

- низкой степени 1,5 по таблице 1 принимаем 2 балла;
- умеренной степени 0,7, по таблице 1 принимаем 1;
- значительной степени 0,3, по таблице 1 принимаем 1.

Определение временного масштабного воздействия на отдельные компоненты природной среды, определяется на основании технического анализа, аналитических (модельных) оценок или экспертных оценок, и представлены в таблице 2.[3]

Таблица 2 - Шкала оценки временного воздействия

Градация	Временной масштаб воздействия	Балл
Кратковременное воздействие	Воздействие наблюдается до 3 месяцев	1
Воздействие средней продолжительности	Воздействие наблюдается от 3 месяцев до 1 года	2
Продолжительное воздействие	Воздействия наблюдается от 1 до 3 лет	3
Многолетнее (постоянное) воздействие	Воздействия наблюдается от 3 до 5 лет и более	4

В нашем случае имеет место многолетнее воздействие, принимаем 4 балла.

Шкала интенсивности определяется на основе экологически-токсикологических учений и экспертных суждений, и рассматривается в таблице 3.[3]

Таблица 3 - Шкала величины интенсивности воздействия

Градация	Описание интенсивности воздействия	Балл
Незначительное воздействие	Изменения в природной среде не превышают существующие пределы природной изменчивости	1
Слабое воздействие	Изменения в природной среде превышают пределы природной изменчивости. Природная среда полностью самовосстанавливается.	2
Умеренное воздействие	Изменения в природной среде превышающие пределы природной изменчивости, приводят к нарушению отдельных компонентов природной среды. Природная среда сохраняет способность к самовосстановлению	3
Сильное воздействие	Изменения в природной среде приводят к значительным нарушениям компонентов природной среды и/или экосистем. Отдельные компоненты природной среды теряют способность к самовосстановлению	4

Так как концентрация всех выбрасываемых веществ низкой и умеренной степеней воздействия не превышает установленные значения ПДК, то выбросы оказывают незначительное воздействие на окружающую среду. Следовательно, принимаем по 1 баллу. Для концентрации веществ значительной степени воздействия принимаем 2 балла.

На конечном этапе определяется комплексное воздействие на атмосферный воздух. Комплексная оценка - это многоступенчатый процесс.

Этап 1. Комплексный балл определяется по формуле:

$$Q_{int\ egr} = Q_s + Q_t + Q_j$$

где:

Q_{integr} – комплексный оценочный балл для заданного воздействия;

Q_s – балл пространственного воздействия на i -й компонент природной среды;

Q_t – балл временного воздействия на i -й компонент природной среды;

Q_j – балл интенсивности воздействия на i -й компонент природной среды.

Комплексный балл составит:

- для низкой степени воздействия – 7;
- для умеренной степени воздействия – 6;
- для значительной степени воздействия – 6.

Этап 2. Категория значимости определяется интервалом значений в зависимости от балла, полученного при расчете комплексной оценки.

Таблица 4 – Категории значимости

Баллы	Значимость
1-8	Воздействие низкой значимости
9-27	Воздействие средней значимости
28-64	Воздействие высокой значимости

По результатам можно сделать вывод, что данный промышленный объект в соответствии с The world bank operational manual Bank Procedures OP 4.01, January, 1999 (Операционным руководством Всемирного Банка (операционная политика) OP 4.01, Январь 1999 г.) по предварительной оценке можно отнести к категории В.

Список литературы

[1]. Экологическая оценка инвестиционных проектов. Методическое пособие / Электронное издание. - М.: 2000. - 130 с. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/9/9183/

[2]. Управленческий учет. Учебное пособие / под ред. А.Д. Шеремета.- М.: ИД ФБК-ПРЕСС, 2000 URL: <http://www.bibliotekar.ru/upravlencheskiy-uchet-2-2/index.htm>

[3]. Методологические аспекты оценки воздействия на природную и социально-экономическую среду. Казахское агентство прикладной экологии, компания Mariposa. URL: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/eia/documents/CentralAsiaGuidelines/Annex%204%20-%20Russian.pdf>

Жукова Юлия Михайловна – канд. техн. наук, зам. зав. каф. по научной работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zjuliam@hotmail.com

Короткова Валерия Евгеньевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kagami-no-yoru@yandex.ru

О.В. Яковлева, Е.О. Пименова

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТАНЦИИ ВОДОПОДГОТОВКИ ЮЖНОГО ВОДОЗАБОРА ГОРОДА КАЛУГИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время обеспечение населения питьевой водой высокого качества во всем мире становится все более актуальной задачей. В основном это обусловлено ростом городов, развитием промышленности, сельского хозяйства и рядом других факторов, которые усложняют водные проблемы.

Проблема обеспечения населения водой высокого питьевого качества важна для любого города, в том числе и для г. Калуги. Одним из источников водоснабжения г. Калуги является Южный водозабор.

Целью исследования являлось проведение локального мониторинга качества воды, поступающей из подземных источников на Южный водозабор в г. Калуге и разработка решений по оптимизации его работы.

Перед выполнением работы были поставлены задачи по изучению источников водоснабжения для Южного водозабора, проведению оценки качества и динамике изменений исходной воды, а также разработка оптимальных решений, позволяющих обеспечить высокое качество работы существующего водозабора.

При изучении объекта исследования установлено, что Южный водозабор г. Калуги состоит из 20 эксплуатационных скважин, расположенных в пределах городской черты и станции обезжелезивания, осуществляющей водоподготовку. Глубина артскважин Южного водозабора колеблется от 26 до 105 м. Подземные воды имеют различную степень естественной защищенности от поверхностного загрязнения [1].

Станция обезжелезивания Южного водозабора введена в эксплуатацию в 1964 году. Проектная мощность станции $25\ 000\ м^3/сут$.

На современном этапе на станции обезжелезивания применяется процесс аэрации, фильтрация и реагентный метод обеззараживания воды. В тоже время известно, что воды артезианских скважин являются достаточно чистыми.

Как было установлено в ходе проводимого исследования на Южном водозаборе, качество воды подземных водных источников считается стабильным. Артезианские и родниковые воды поступают из горизонтов, защищенных от поверхности земли водонепроницаемыми породами, в связи с чем, они характеризуются высокими санитарными показателями [2].

Для полноты представления было проведено исследование по оценке качества, а также изменению динамики исходной воды.

В ходе аналитического исследования была прослежена динамика изменения концентрации содержания в воде артезианских скважин вредных примесей в течение 2014 года, и сравнение с предельно допустимой концентра-

цией. Под контроль взяты скважины №12,13,15 – расположенные вдоль реки Оки, скважина №20 – расположенная на территории Южного водозабора и эксплуатирующая Нижне-Тулский водоносный горизонт, в отличие от остальных скважин, эксплуатирующих Упинский горизонт и скважина №16 – расположенная у реки Оки и являющаяся самой производительной.

После обработки данных нами были получены результаты исследования по показателям цветности, мутности, жесткости, содержанию аммиака, запаха, сероводорода, железа, хлоридов и сульфатов [3].

Сделаны выводы о том что, несмотря на некоторое колебание значений в течение года, данные показатели находятся в пределах нормы. Исключение составляют мутность и содержание железа.

Показатели мутности превышены на всех скважинах в течение года. Как видно из рисунка 1, наибольшие колебания наблюдаются на скважинах №15,20.

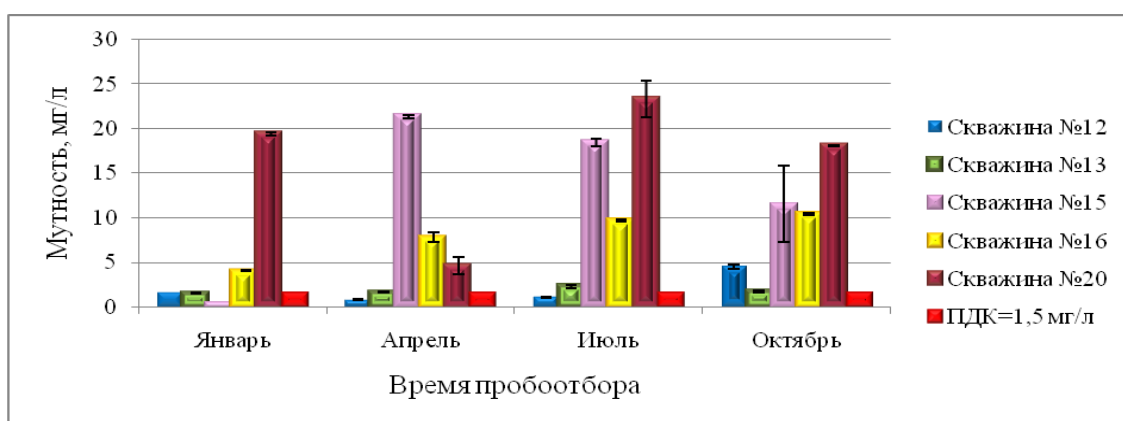


Рис. 1. Изменение мутности воды скважин в течение года и сравнение с нормативом ПДК

Железо превышено на всех скважинах в течение года, что наблюдаем на рисунке 2. Превышения железа являются характерными для подземных вод.

На скважинах №12 – превышение в 5 раз, №13 – в 6,5 раз, №15 – в 16,5 раз, №16 – в 20 раз, №20 – в 20 раз (наибольшие превышения). Наибольшее содержание железа отмечается в воде весной, в апреле.

Показатели по мутности и по содержанию в воде скважин железа являются для станции обезжелезивания особо актуальными и это связано с технологией водоподготовки, которая применяется на Южном водозаборе.

В результате проведения локального мониторинга качества воды, поступающей из подземных источников на Южный водозабор в г. Калуге можно сделать вывод о том, что качество воды зависит от сезонов года, и не отличается стабильностью. Разница между максимальными и минимальными значениями по загрязнению воды связана с разной глубиной скважин (от 27 до 105 м) и разной защищенностью водоносного горизонта.

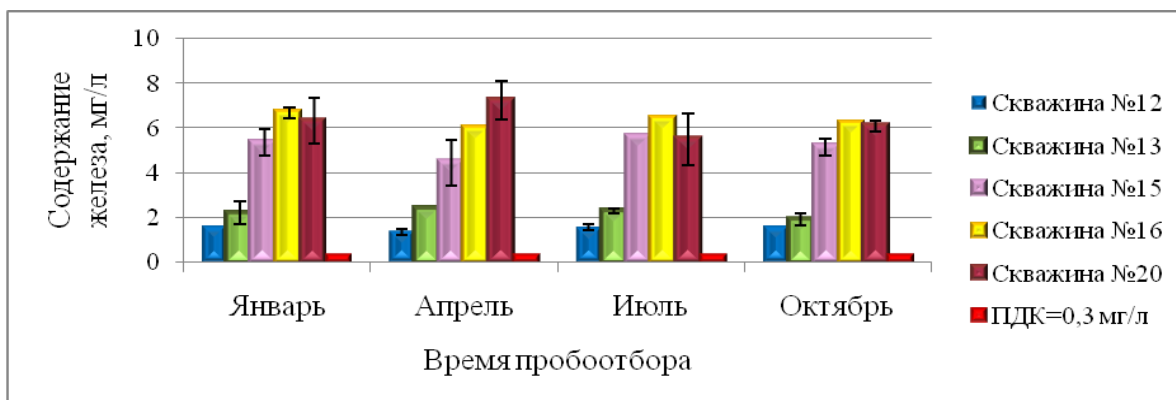


Рис. 2. Изменение содержания железа в воде скважин в течение года и сравнение с нормативом ПДК

Известно, что, несмотря на определенную защищенность подземных источников, которые обычно свободны от крупных микроорганизмов и могут не содержать более мелких, необходимо оборудование для обеззараживания, служащее барьером от сезонных или аварийных заражений.

На существующей станции водоподготовки применяется обеззараживание воды с помощью сульфата аммония и раствора гипохлорита натрия.

В качестве недостатков химического метода обеззараживания можно отметить использование токсичных окислителей, образование нежелательных побочных продуктов, использование для проведения обеззараживания значительных строительных объемов и так далее.

В настоящее время прослеживается тенденция использования при водоподготовке физического метода обеззараживания взамен существующего реагентного. Физическое обеззараживание основывается на использовании энергии от излучения, которое губительно воздействует на болезнетворную микрофлору воды. Из физических методов выделяется облучение ультрафиолетовыми лучами длиной волн 220-280 нм действующими губительно на бактерии.

Бактерицидное действие ультрафиолетовых лучей объясняется происходящими фотохимическими реакциями в структуре молекулы ДНК и РНК. Результат этих реакций – необратимые повреждения ДНК и РНК. Кроме того, действие УФ - излучения вызывает нарушения в структуре мембран и клеточных стенок микроорганизмов. Всё это в конечном итоге приводит к их гибели. Фотохимическое воздействие предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы в результате поглощения энергии фотона.

Метод УФ - обеззараживания имеет следующие основные преимущества по отношению к окислительным обеззараживающим методам (хлорирование):

- УФ - облучение летально для большинства водных бактерий, вирусов,
- спор;
- обеззараживание ультрафиолетом происходит за счет фотохимических

- реакций внутри микроорганизмов, поэтому на его эффективность изменение характеристик воды оказывает намного меньшее влияние;
- в обработанной УФ - излучением воде не обнаруживаются токсичные и мутагенные соединения;
- в случае передозировки отсутствуют отрицательные эффекты;
- достижения последних лет в свето- и электротехнике позволяют
- обеспечить высокую степень надежности УФ-комплексов;
- оборудование работает без специального обслуживающего персонала
- и так далее [4].

Обеззараживание подземных вод является традиционной областью применения ультрафиолетового излучения. Целый ряд УФ - комплексов большой производительности эксплуатируются в системах водоснабжения городов и промпредприятий, использующих подземные источники водоснабжения.

Использование УФ - облучения в качестве обеззараживания рекомендуется для воды, уже прошедшей очистку по цветности, мутности и содержанию железа. Для обеззараживания подземных вод рекомендуется применять бактерицидное излучение при условии, если коли-индекс исходной воды не более 1000 ед/л, содержание железа до 0,3 мг/л, мутность до 2 мг/л, цветность не более 20 град.

Для оптимизации работы станции обезжелезивания на Южном водозаборе проведено определение (расчеты) оптимальных размеров песчаных фильтров и предложено применение метода УФ – обеззараживания. Разработана схема водоподготовки, представленная на рисунке 3.

Как показал проведенный анализ работы существующих сооружений водоподготовки, перед подачей воды на станцию второго подъема, результаты контроля качества питьевой воды следующие: железо менее 0,1 мг/л, мутность менее 0,58 мг/л, цветность 4 град., ОКБ (общие колиформные бактерии) отсутствуют, ТKB (термотолерантные колиформные бактерии) отсутствуют, общее микробиологическое число равно нулю.

Данные показатели позволяют использовать УФ – излучения для обеззараживания воды питьевого качества, которое предлагается нами к применению.

Согласно разработанному решению после подачи воды на установку аэрации 2, фильтрации на песчаных фильтрах 1 осуществляется процесс обеззараживания на УФ – установке 4. Далее полученная вода высокого качества собирается в резервуаре чистой воды 6, откуда насосами подается в водоразборную сеть.

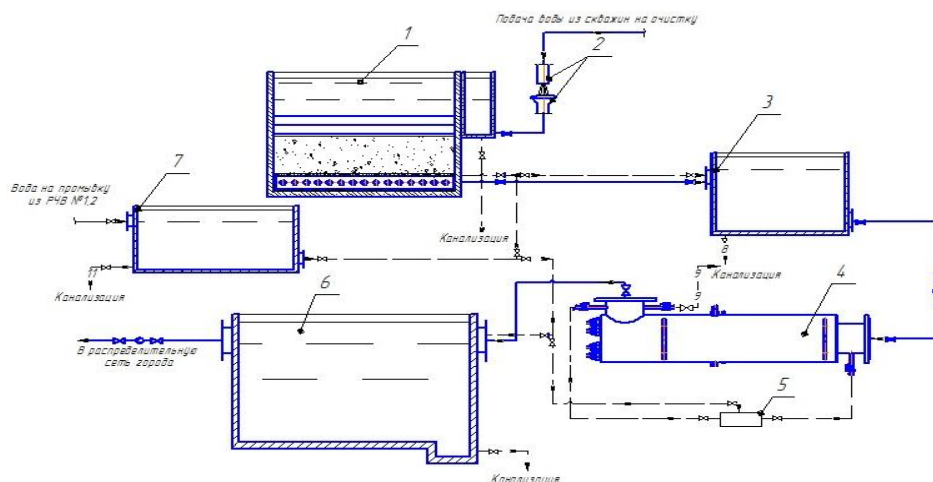


Рис. 3. Схема водоподготовки станции обезжелезивания

При разработке новой технологии обеззараживания питьевой воды на Южном водозаборе нами за основу взята следующая организация процесса обеззараживания: из РЧВ №3 подается вода, прошедшая УФ – обеззараживание; из РЧВ №1 и №2 поступает вода с Окского водозабора (источник водоснабжения р. Ока), уже прошедшая все стадии водоподготовки, в том числе и хлорирование, которое обладает пролонгированным действием. Данное решение обеспечивает не только обеззараживание воды, но и отсутствие возможного по пути подачи воды вторичного биозагрязнения. Далее объединенный поток воды поступает в разводящую сеть города.

Разработанное решение по применению процесса УФ – обеззараживания на станции обезжелезивания Южного водозабора г. Калуги является на наш взгляд оптимальным, это подтверждают и проведенные исследования.

Список литературы:

[1]. Новиков В. П., Гордеева Т. А., Супрычев В. В. Источники подземных вод Жиздринского и Воротынского участков национального парка «Угра». Природа и история Поугорья, 2009, № 5, с. 29-37.

[2]. Лукин В.В. Оценка экологического статуса водоисточника и выбор оптимальной технологии очистки воды. URL: <http://www.voda-da.ru/eco.htm> (дата обращения 2.03.2015).

[3]. Пименова Е.О., Яковлева О.В., Гаврилина Е.А. Анализ качества воды источников водоснабжения Южного водозабора города Калуги. РНТК Научно-технические технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе, 2015, Т.1, с. 275-279.

[4]. "Ультрафиолетовые Технологии" - обеззараживание воды. URL: <http://www.uv-tech.ru/uv-series-P.html> (дата обращения 3.04.2015).

Яковлева Ольга Владимировна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: yakowlewaolga24@mail.ru

Пименова Евгения Олеговна - инженер по охране окружающей среды ОАО "Восход-КРЛЗ". E-mail: electra5864@yandex.ru

Г.В. Лаврентьева, Р.А. Сергулев

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА РЕГИОНАЛЬНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ПРИ НАРУШЕНИИ МНОГОБАРЬЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время в ядерно-промышленном комплексе сохраняются серьезные экологические проблемы. Особого внимания заслуживают хранилища радиоактивных отходов (РАО), введенные в эксплуатацию в 50 – 70-ые гг. прошлого столетия, которые, как правило, не отвечают современным требованиям по обращению с РАО. В отдельных случаях наблюдается утечка радионуклидов из емкостей хранилищ, поступление их в окружающую среду, активная миграция в компонентах экосистемы и как результата дополнительная дозовая нагрузка на региональное население.

Подобная ситуация сложилась в бассейне р.Протва на севере Калужской области, где расположено региональное хранилище РАО. Объект введен в эксплуатацию в 1950-1970-е годы. В настоящее время хранилище находится в процессе вывода из эксплуатации. В период с 1998 по 1999 гг. обнаружено увеличение удельной активности ^{90}Sr в наблюдательных скважинах, что было объяснено проникновением поверхностных вод в одну из емкостей. В связи с этим аварийную емкость вскрыли и обнаружили наличие щелей между плитами перекрытия и отсутствие гидроизоляции. Частично отсеки секции были заполнены водой, опробование которой показало, что объемная активность по ^{90}Sr составляла 5440 Бк/л, по ^{137}Cs - 450 Бк/л [1]. При переполнении емкости вода, загрязненная радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs , поступала за её пределы.

Многолетние радиоэкологические исследования территории расположения хранилища РАО [1-3] позволяют утверждать, что в результате разгерметизации емкости сформировался неконтролируемый источник радиоактивного загрязнения, вследствие чего регистрируется поступление этих радионуклидов преимущественно с грунтовыми водами в прилегающие геосистемы, что в свою очередь может быть причиной дополнительной радиационной нагрузки на региональное население.

Целью данной работы является оценка дозовых нагрузок и радиационных рисков от возможных сценариев поступления радиоактивных веществ из регионального хранилища РАО в природную среду.

Оценка воздействия регионального хранилища РАО проводилась с учетом данных экологического мониторинга, включая удельные активности техногенных радионуклидов в почвах, растительности, грунтовых и поверхностных водах [2]. Оценка воздействия хранилища РАО на региональное насе-

ление проводилась по «Методологии оценок безопасности для приповерхностных хранилищ РАО», предложенной МАГАТЭ [4].

В соответствии с методологией для оценок доз и рисков для населения от воздействия хранилища использовали различные сценарии поступления радионуклидов в окружающую среду, описанные ниже.

Сценарий 1 («Утечка жидкости»): поступление радиоактивных вод в окружающую среду от некондиционированных отходов в хранилище при нормальном режиме работы. Сценарий 1 относится к поступлению радиоактивных вод из хранилища в окружающую среду. При утечке радиоактивных вод из хранилища дождевая вода инфильтруется через отходы, а затем попадает со сточными водами в дренажную систему. Из дренажной системы загрязненный водный поток устремляется в локальный водный объект, который используется населением в хозяйственных целях.

Сценарий 2 («Ресуспензия пыли»): ресуспензия пыли с поверхности хранилища при нормальном режиме работы. Сценарий 2 описывает процесс ресуспензии пыли с поверхности хранилища. Согласно этому для населения основными путями является внешнее облучение и облучение от взвешенной в воздухе пыли.

Сценарий 3 («Пожар»): возгорание некондиционированных отходов в хранилище. Сценарий 3 рассматривают для случая возгорания в хранилище некондиционированных отходов. При реализации данного сценария дополнительную дозу облучения могут получить как персонал, так и население. Радиоактивные частицы в результате горения попадают в воздушную среду в виде твердых частиц и радиоактивных газов.

Сценарий 4 («Затопление»): аварийная ситуация – затопление хранилища с отходами. Сценарий 4 описывает затопление хранилища. Он является особенно важным для хранилища, который не обладает совершенным проектным планом и удобным для захоронения местоположением. В ходе реализации данного сценария могут быть затоплены радиоактивными водами близлежащие земли, используемые населением.

Расчеты проводили с помощью математических моделей, описывающих выбранный сценарий. При этом за основной принимается сценарий «Утечка жидкости», так как именно такому сценарию соответствует аварийная ситуация на изучаемом объекте.

Через расчет дозовых нагрузок для населения при различных путях поступления радионуклидов в организм человека проводилась оценка радиационного риска.

Оценка радиационного риска проводилась через расчет дозовых нагрузок для населения при различных путях поступления радионуклидов в организм человека [5,6]. Для расчетов использовали интегральный коэффициент радиационного риска злокачественных новообразований и наследственных эффектов для здоровья. Величина коэффициента риска при однородном облучении всего тела человека равна $5,7 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ [7].

При анализе полученных данных учитывались рекомендации Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), где обозначено, что хранилища РАО должны проектироваться таким образом, чтобы средняя доза для критической группы населения не превышала дозовый предел 0,3 мЗв/год, что соответствует уровню риска порядка 10^{-5} в год [2].

Анализ полученных данных позволяет заключить следующее. Полученные оценки доз для населения для рассматриваемых сценариев поступления радионуклидов в окружающую среду значительно ниже регламентируемого предельного значения и варьируют от $3,3\text{E-}15$ Зв/год для сценария «Затопление» до $5,9\text{E-}08$ Зв/год для сценария «Утечка жидкости».

Расчет показал, что для основного сценария «Утечка жидкости» из хранилища РАО суммарные дозы облучения от множественных путей поступления радионуклидов в организм человека значительно ниже регламентируемого предела дозы и составляют для ^{137}Cs – $1,20\text{E-}08$ Зв/год, а для ^{90}Sr – $4,66\text{E-}08$ Зв/год (Табл.1). При этом основной вклад в дозу для населения приносит пероральный путь поступления радионуклидов в организм с продуктами питания.

Таблица 1. Дозы облучения населения при поверхностном загрязнении почвы техногенными радионуклидами для сценария «Утечка жидкости»

Нуклид	Полная доза от всех продуктов питания, Зв/год	Доза от вдыхания радионуклидов, Зв/год	Внешняя доза от поверхности почвы, Зв/год	Полная доза на население, Зв/год
^{137}Cs	$5,0\text{E-}09$	$3,9\text{E-}14$	$7,0\text{E-}09$	$1,2\text{E-}08$
^{90}Sr	$4,7\text{E-}08$	$4,2\text{E-}13$	$7,0\text{E-}11$	$4,7\text{E-}08$

Для сценария «Ресуспензия пыли» с хранилища траншейного типа дозобразующим радионуклидом является ^{137}Cs – 78%, а основными путями облучения населения являются ингаляция и потребление продуктов питания (Табл.2). Дозовые нагрузки для населения значительно меньше 0,3 мЗв/год и составляют $5,8\text{E-}13$ Зв/год (^{137}Cs) и $1,7\text{E-}13$ Зв/год (^{90}Sr).

Таблица 2. Доза от различных путей облучения человека и полная доза на население для сценария «Ресуспензия пыли» с поверхности хранилища

Радионуклид	Доза от ингаляции частиц в воздухе, Зв/год	Доза от погружения в пылевое облако, Зв/год	Внешняя доза от проходящего облака, Зв/год	Доза от потребления зеленых растений, Зв/год	Полная доза на население, Зв/год
^{137}Cs	$5,00\text{E-}13$	$9,80\text{E-}16$	$5,63\text{E-}14$	$2,00\text{E-}14$	$5,77\text{E-}13$
^{90}Sr	$4,60\text{E-}14$	$7,10\text{E-}18$	$5,63\text{E-}16$	$1,23\text{E-}13$	$1,70\text{E-}13$

Для сценария «Затопление» в хранилище траншейного типа основным путем облучения населения является пероральный путь и доза, преимущественно, определяется радионуклидом ^{90}Sr (Табл.3).

Таблица 3. Расчетные значения дозовых составляющих для сценария «Затопление», (Зв/год)

Радионуклид	Доза внешнего облучения, Зв/год	Доза от ингаляции радионуклидов, Зв/год	Доза от потребления загрязненных зеленых растений, Зв/год	Полная доза на население, Зв/год
^{137}Cs	1,56E-19	1,17E-23	3,42E-19	4,98E-19
^{90}Sr	2,55E-20	2,08E-21	3,33E-15	3,33E-15

В сценарии «Пожар» в хранилище траншейного типа доза для населения определяется радионуклидом ^{90}Sr (75%), основными путями облучения являются ингаляция и потребление пищи (Табл.4). Суммарная доза по этому пути составила 2,7E-12 Зв/год.

Таблица 4. Дозовые составляющие суммарной дозы для населения (Зв/год) по сценарию «Пожар» в хранилище траншейного типа

Радионуклид	Доза внешнего облучения от горения, Зв/год	Доза от ингаляции радионуклидов, Зв/год	Доза внешнего облучения от осаждаемых радионуклидов, Зв/год	Доза от потребления загрязненных зеленых растений, Зв/год	Полная доза на население, Зв/год
^{137}Cs	9,80E-16	6,00E-13	1,98E-17	2,00E-14	6,21E-13
^{90}Sr	7,10E-18	1,92E-12	1,98E-19	1,21E-13	2,04E-12

Радиационные риски возникновения генотоксических эффектов для здоровья населения значительно ниже уровня пренебрежимого риска для населения, составляющего значение 10^{-6} (табл.6).

Таблица 6. Оценка риска по всем рассматриваемым сценариям

Сценарий	Риск от облучения ^{137}Cs	Риск от облучения ^{90}Sr	Суммарный риск
«Утечка жидкости»	6,9E-10	2,7E-09	3,39E-09
«Ресуспензия пыли»	3,3E-14	9,7E-15	4,27E-14
«Затопление»	2,8E-20	1,9E-16	1,90E-16
«Пожар»	3,5E-14	1,2E-13	1,55E-13

Для основного рассматриваемого сценария «Утечка жидкости» из хранилища РАО суммарный риск от множественных путей поступления радионуклидов составил для ^{137}Cs – $6,9\text{E}-10$, а для ^{90}Sr – $2,7\text{E}-09$ (Табл.1). Так же, как и для дозы облучения, основной вклад в суммарный риск для населения приносит путь поступления радионуклидов с пищевыми продуктами.

На основании вышесказанного можно заключить, что, полученные оценки дозовых нагрузок и риски для населения, пребывающего или проживающего на территории, прилегающей к проблемному хранилищу РАО, показывают, что хранилище РАО является «условно» безопасным объектом для рассматриваемой когорты населения.

Список использованных источников

[1]. Васильева А.Н., Козьмин Г.В., Вайзер В.И. Оценка защитных барьеров на пути миграции радионуклидов в районе размещения хранилища радиоактивных отходов. *Известия ВУЗов. Ядерная энергетика*, 2007, № 3, Выпуск 1, с. 74–82.

[2]. Lavrentyeva G. Characteristic of pollution with groundwater inflow ^{90}Sr natural waters and ter-restrial ecosystems near a radioactive waste storage. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2014, № 135, pp. 128-134

[3]. Шошина Р.Р., Лаврентьева Г.В., Гешель И.В., Сынзыныс Б.И. Биогеохимические показатели миграции техногенного радионуклида Sr-90 на биотопе регионального хранилища радиоактивных отходов. *Ядерная физика и инжиниринг*, 2014, № 3, том 5, с. 223–228

[4]. IAEA-TECDOC-1380. Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities. December, 2003, 145 p.

[5]. IAEA – International Atomic Energy Agency. *The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series*. 1995, No.111-F, IAEA, Vienna,

Лаврентьева Галина Владимировна – канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Lavrentyeva.G@ya.ru

Сергулев Роман Алексеевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Roma19939089@yandex.ru

С.Н. Никулина, Е.И. Семенова, М.С. Горбачева

СОВРЕМЕННАЯ АЛЬТЕРНАТИВА РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДАМ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Существует множество вод оказывающих благоприятное воздействие на человеческий организм: минеральная вода, талая вода, шунгитовая вода, магнитная вода, родниковая вода и т.д. Но именно родниковую воду мы считаем не просто чистой, а кристальной [1].

В природных водах проходят естественные биологические процессы, в ходе которых происходит биологическое загрязнение, но также, в них присутствуют и загрязнение антропогенного происхождения, часто не только ухудшающие органолептические свойства воды, но и сообщающие ей токсичность. Техногенные компоненты обнаруживаются уже не только в верхних, слабо защищенных, водоносных горизонтах, но и в глубоких артезианских резервуарах [2].

Так, если поблизости родника находятся свалки или промышленные предприятия, в воде могут быть обнаружены такие опасные для здоровья человека элементы как свинец, никель, хром, нитраты, фосфаты, пестициды, диоксины, ртуть, и т.д. Также, в такой воде могут содержаться различные бактерии, кишечная палочка, нефтепродукты и множество других вредных веществ, которые могут привести к самым различным тяжелым заболеваниям.

Это связано со значительным увеличением автотранспорта, промышленных предприятий, увеличением количества автозаправочных станций, авторемонтных мастерских, организованных и стихийных автостоянок, гаражных кооперативов. Уничтожение газонного покрова на улицах города и во дворах, разрушение дворовой инфраструктуры неупорядоченным движением автотранспорта, ведет к ухудшению экологической обстановки города, снижению процессов самоочищения почвы, а, следовательно, ухудшению качества родниковой воды.

Получение воды питьевого качества из подземных природных источников происходит с применением обеззараживания.

Традиционные методы обеззараживания воды или так называемые реагентные методы, не достаточно эффективны и при этом приносят необратимый вред для здоровья человека [4].

В связи с этим, одной из новейших и альтернативных решений данной проблемы является применение нетрадиционных методов очистки воды или так называемых безреагентных методов.

К ним относятся: нагрев воды до высоких температур (кипячение), обработка воды ультразвуком, применение УФ-излучения, обработку воды

электрическим разрядом, обеззараживание воды в магнитном поле, применение СВЧ-излучения, применение ионизирующего излучения [3].

Применение когерентного (лазерного) излучения является наиболее целесообразным. Энергетические источники лазерного излучения более экономически выгодны по сравнению с остальными. Когерентное (лазерное) излучение успешно применяется для удаления из воды различных микроорганизмов и болезнетворных бактерий (паразитов). В зависимости от дозы облучения действие лазера вызывает у микроорганизмов изменения морфологических и биохимических свойств, вплоть до утраты жизнеспособности. У бактерий воздействие лазерного излучения вызывает изменение темпа деления клеток и их гибель. В результате облучения лазером улучшаются показатели по коли-индексу и коли-титру, а также по общему микробному числу, что позволяет отказаться от хлорирования.

Таким образом, развитие лазерных излучателей позволяет на современном этапе рассматривать процессы лазерной очистки как реальную экономически целесообразную альтернативу классическим методам очистки.

Лазерные методы очистки — наиболее экологически чистый процесс очистки.

Литература

[1]. Вода это жизнь. URL: http://www.vodainfo.com/ru/about_water.html (дата обращения 21.10.2015).

[2]. Зубченко Г.В., Сулин Г.А. Рациональное использование водных ресурсов. – М.: Недра, 2004. – 175с. (дата обращения 21.10.2015).

[3]. Нетрадиционные методы обеззараживания воды. URL: <http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS/GIDRA/VODOSN/METHOD/SOSHNIKOV/11.html> (дата обращения 24.10.2015).

[4]. Методы очистки и обеззараживания воды. URL: <http://ria.ru/documents/20091028/191037571.html> (дата обращения 24.10.2015).

Никулина Светлана Николаевна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voinsveta579@mail.ru

Семенова Екатерина Ивановна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vip.ka95@bk.ru

Горбачева Марина Сергеевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vip.ka95@bk.ru

Н.А. Шахматова, С.Н. Никулина

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОПОДГОТОВКИ В ГОРОДАХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время, в связи, со стремительным развитием промышленности, урбанизацией населения, и улучшением культурно-бытовых условий все более острой становится проблема загрязнения водных экосистем, что представляет огромную опасность для всех живых организмов и, в частности, для человека.

Вода занимает ключевое место в процессе создания и поддержания жизни на Земле, играет важную роль в химическом строении живых организмов, в формировании климата и погоды. Основные требования к качеству питьевой воды: быть безопасной в эпидемическом и радиационном отношении, быть безвредной по химическому составу. Чтобы вода соответствовала всем нормам, ее необходимо обрабатывать, применяя различные методы обеззараживания.

К важнейшим проблемам в сфере обеспечения жизнедеятельности человека относятся вопросы очистки и обеззараживания питьевых вод, а также вопросы очистки сточных вод и осадков сточных вод, прежде всего от примесей тяжелых металлов.

Обеззараживание воды это процесс уничтожения находящихся в ней микроорганизмов. В процессе первичной очистки вод задерживаются до 98% бактерий. Но среди оставшихся бактерий могут содержаться болезнетворные микробы, для уничтожения которых нужна специальная обработка воды – её обеззараживание.

Сегодня подтверждено, что угроза заболеваний от присутствующих в воде патогенных микроорганизмов в тысячи раз выше, чем при засорении воды химическими соединениями. Следовательно, обеззараживание воды до пределов, отвечающих гигиеническим нормативам, представляет необходимым условием приобретения воды питьевого качества [1].

Для того чтобы природная вода соответствовала всем нормам, ее необходимо обрабатывать, используя различные методы обеззараживания: реагентные (химические) и безреагентные (физические) [4].

Реагентные (химические) методы обеззараживания включают в себя хлорирование и озонирование природной воды.

Хлорирование - самый распространенный и проверенный способ обеззараживания воды. В настоящее время этим методом обеззараживается 98,6 % воды. Хлорирование позволяет не только очистить воду от нежелательных органических и биологических примесей, но и полностью удалить растворенные соли железа и марганца.

Преобладание озона перед иными дезинфекторами состоит в присущих ему обеззараживающих также окислительных свойствах, обусловленных выделением при контакте с органическими объектами деятельного атомарного кислорода, разрушающего ферментные системы микробных клеток также окисляющего определенные соединения, которые придают воде малоприятный запах. Помимо уникальной способности разрушения бактерий, озон владеет высокой результативностью в истреблении спор, цист также немалых иных патогенных микроорганизмов. Исторически использование озона началось примерно в 1898 г. во Франции, где впервой были сделаны опытно - индустриальные установки по подготовке питьевой воды [2].

Недостатками озонирования являются то, что этот метод может применяться только в централизованных системах водоснабжения, а так же кратковременность его действия. При контакте озона с веществами, находящимися в воде, могут образовываться новые ядовитые соединения.

На заседании Совета Безопасности РФ Президент отметил, что уже сейчас есть возможность обходиться без хлора и других потенциально опасных веществ в системе ЖКХ.

По словам Президента РФ: "Надо активнее переходить на безопасные, экологичные технологии в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве, внедрять жесткие современные стандарты, чтобы стимулировать использование технологий, которые снижают, а еще лучше полностью исключают риски" [6].

В последнее время все более широкое применение находят нетрадиционные методы обеззараживания – безреагентные методы (физические).

Безреагентные методы:

- ультрафиолетовое излучение;
- нагрев воды до высоких температур (кипячение);
- электроимпульсный способ;
- обеззараживание ультразвуком;
- радиационное обеззараживание;
- обеззараживание в магнитном поле;
- применение УФ излучения и т.д.

Ультрафиолетовое излучение представляет собой форму оптического излучения с длинами волн от 0,38 мкм до 100 . Его биологическое действие заключается в фотохимических процессах молекул биополимеров, возникающих в процессе поглощения верхними слоями тканей растений или кожи животных и человека падающего излучения. В отличие от хлорирования или озонирования при правильном выборе источника и дозы ультрафиолетового излучения обработка воды не сопровождается изменением ее химического состава или появлением токсичных побочных продуктов или мутагенной активности. Процесс ультрафиолетового излучения не требует введения в воду химических реагентов, не изменяет физико-химических свойств и не влияет на вкусовые качества воды. Применение

такого метода облучения эффективно лишь на водоочистных станциях небольшой производительности в виду его высокой стоимости.

Несмотря на все преимущества, обеззараживать ультрафиолетовыми лучами лучше всего очищенную прозрачную воду, т.к. взвешенные и коллоидные примеси рассеивают свет и препятствуют проникновению ультрафиолетовых лучей. В связи с несовершенством выше перечисленных методов необходимо применять и другие источники излучения, которые будут эффективно обеззараживать, и очищать исходную воду без образования ядовитых веществ [5].

В некоторых случаях обеззараживания воды используют ультразвук. Преимуществом использования ультразвука перед многими другими безреагентными методами обеззараживания природной воды является его нечувствительность к таким факторам, как высокая мутность и цветность воды, а так же наличие в воде растворенных веществ. Единственный фактор, который существенно влияет на эффективность обеззараживания природной воды ультразвуком — это интенсивность ультразвуковых колебаний. Ультразвук — это звуковые колебание, частота которых находится значительно выше уровня слышимости. Частота ультразвука от 20000 до 1000000 Гц, следствием чего и является его способность губительным образом сказываться на состоянии микроорганизмов. Бактерицидное действие ультразвука разной частоты весьма значительно и зависит от интенсивности звуковых колебаний. Обеззараживание воды ультразвуком считается одним из новых методов дезинфекции.

В мегаполисах и более крупных промышленных центрах России для обеззараживания природной воды применяют новые технологии, сочетающие в себе и реагентные, и безреагентные методы, так называемые комплексные методы обеззараживания воды [3].

Проблема обеззараживания природной воды стоит сегодня более остро, потому что качество ее в природных источниках неуклонно ухудшается. Отмечено, что около 70 % рек и озер страны утратили свое качество как источники водоснабжения, а приблизительно 30 % подземных источников подверглись природному или антропогенному загрязнению. Около 22 % проб питьевой воды, отбираемых из водопроводов, не отвечают гигиеническим требованиям по санитарно-химическим нормам, а более 12 % — по микробиологическим показателям.

Попытка полностью исключить химические вещества из технологии обезвреживания природной воды пока не увенчалась успехом. До тех пор пока будут действовать санитарные нормы, регламентирующие в настоящее время содержание вредных химических веществ в природной воде, химические способы будут применяться, только вот их ужесточение приведет к вложению средств в разработку безреагентных методов обеззараживания.

Список используемых источников:

[1]. Жукова Ю.М., Коржавый А.П., Никулина С.Н. Проблемы реализации в практику безреагентных способов очистки загрязненных вод.// *Научно-технические технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе*, 2014, Т.2, с. 241-244.

[2]. Коржавый А.П., Ершов А.В. Исследования экологических проблем обработки природных вод с целью исключения хлора из технологии водоподготовки. Труды регионального конкурса научных проектов в области гуманитарных наук. Вып. 5. Калуга: Полиграф-Информ, 2004, 386 с.

[3]. Коржавый А.П., Челенко А.В. Способы и технологии очистки пресной воды, загрязненной в современной техносфере.// *Научно-технические технологии*, 2015, т.16, №9, 66-75.

[4]. Методы очистки и обеззараживания воды. URL: <http://ria.ru/documents/20091028/191037571.html> (дата обращения 30.10.2015).

[5]. Обработка воды ультразвуком // mediana-filter.ru: Сайт компании Медиана Фильтр. URL: http://www.mediana-filter.ru/water_filter_uf.html (дата обращения 29.10.2015)

[6]. Путин призвал скорее отказаться от хлора в системе ЖКХ. URL: http://realty.newsru.com/article/30oct2015/putin_chlorine (дата обращения 31.10.2015)

Шахматова Нина Александровна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nina.shahmatova@yandex.ru

Никулина Светлана Николаевна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voinsveta579@mail.ru

М.И. Христофорова, О.В. Яковлева

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ВОДОПОДГОТОВКЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время в мире сложилась серьезная ситуация с наличием питьевой воды, ее качественными изменениями, несоответствием санитарно-гигиеническим требованиям, порой употреблением недоброкачественной воды населением.

Отрицательно сказывается на состоянии источников питьевой воды развитие промышленности, энергетики, сельского и коммунального хозяйства. Вода в разной степени подвергается антропогенному и техногенному воздействию, что в значительной мере снижает ее качество.

Поэтому природная вода крайне редко обладает свойствами, соответствующими всем необходимым требованиям и в связи с этим, перед подачей в распределительную сеть она должна подвергаться требуемой обработке.

Метод обработки воды определяется на основе изучения состава и свойств воды источника водопотребления и требований, которые предъявляет ее потребитель. Среди традиционных, часто применяемых при водоподготовке методов, используются коагуляция, отстаивание, фильтрация, умягчение, дезинфекция, кондиционирование различного типа и прочие методы.

Целью исследования являлось определение тенденций использования для процесса фильтрования различных фильтрующих материалов при водоподготовке.

Решались задачи по изучению основных характеристик процесса фильтрования; изучению свойств и использования различных фильтрующих материалов.

Фильтрование представляет собой процесс прохождения осветляемой воды через слой фильтрующего материала, который проницаем для жидкости и не проницаем для твердых частиц. Основная цель данного процесса - это задержание находящихся в воде взвешенных веществ [1].

В большинстве случаев, фильтрование является завершающим этапом обработки воды и производится после ее предварительного осветления в отстойниках, флотаторах или осветлителях.

В зависимости от заряда и соотношения размеров примесей воды и зерен фильтрующей загрузки может происходить три вида фильтрования:

- пленочное фильтрование - задержание примесей на поверхности фильтрующего слоя (чисто механическое извлечение из воды диспергированных примесей);

- объемное фильтрование - задержание примесей в порах фильтрующего слоя (предварительное коагулирование примесей воды для уменьшения или ликвидации их заряда);
- одновременное пленочное и объемное фильтрование.

На станциях водоподготовки на определенной ступени очистки в технологические схемы, как правило, включены фильтры. В зависимости от типа фильтрующей среды выделяют следующие виды фильтров:

- зернистые (фильтрующий слой - кварцевый песок, дробленый антрацит, керамзит, шлак, пенополистирол, магномасса и др.);
- сетчатые (фильтрующий слой - сетка с размером ячеек 40 мкм);
- тканевые (фильтрующий слой - хлопчатобумажные, льняные, суконные, стеклянные или капроновые ткани);
- намывные (фильтрующий слой - древесная мука, диатомит, асбестовая крошка и др. материалы) [1].

Как показало проведенное исследование, в практике водоочистки наибольшее применение, в основном, находят зернистые фильтры. К ним относятся все фильтры, в которых фильтрующий материал используется в виде гранул природного или искусственного происхождения.

В качестве фильтрующих природных материалов используются кварцевый песок, дробленый антрацит, керамзит, шунгезит, цеолит, активированный уголь и другие материалы.

В качестве материалов искусственного происхождения используются различные пластические массы. Синтетические полимеры получают двумя основными способами: полимеризацией и поликонденсацией. Загрузки искусственного происхождения, это чаще всего гранулы полиэтилена, полипропилена.

Полиэтилен получают полимеризацией газа этилена под давлением в присутствии катализаторов. В зависимости от способов получения промышленность выпускает полиэтилен высокого давления (ВД), полиэтилен низкого давления (НД), полиэтилен среднего давления (СД), сополимер этилена с пропиленом.

Полипропилен получают полимеризацией газа пропилена. Товарный полипропилен выпускается в гранулах и в виде порошка белого цвета стабилизированным окрашенным или неокрашенным. По физико-механическим свойствам и химической стойкости полипропилен аналогичен полиэтилену НД [2].

С одной стороны, технология очистки на зернистых фильтрах движется вперед, развивается. Зернистые фильтры могут быть однослойные и многослойные, состоящие из фракций с различной крупностью загрузки. В настоящее время используются загрузки в виде «пирога», в который входят до семи слоев и, в том числе, слои из дробленых шин, косточек вишни, опилок и т.д. Все это улучшает качество получаемого фильтрата.

Но, тем не менее, к основным недостаткам традиционных зернистых фильтров можно отнести:

- трудоемкость замены фильтрующего материала;
- проблему утилизации отработанной загрузки;
- необходимость использовать чистую воду для регенерации фильтра и сложности с самим процессом промывки;
- относительно малую удельную грязеемкость песка - основного фильтрующего материала;
- сложность эксплуатации и так далее.

Другая тенденция развития фильтрационных материалов - это разработка и применение полимерных фильтров для водоподготовки.

Особенностью данного вида фильтров является использование в качестве фильтрующей загрузки полимерного материала в виде волокон, скрепленных в форме шара.

Загрузка изготавливается с характеристиками, позволяющими при сжатии уменьшать размеры пор для улучшения качества фильтрации, а при разжимании восстанавливать форму. При этом поры увеличиваются, загрязнения высвобождаются, упрощается их удаление и регенерация фильтра.

Для получения таких фильтров используют полимеры различной химической природы: триацетат целлюлозы, поливинилхлорид (ПВХ), полипропилен (ПП), политетрафторэтилен (ПТФЭ), полиамид, полиэтилен (ПЭ) [3].

Согласно ряду исследований [4], основной структурной единицей таких фильтроматериалов являются ультратонкие волокна с уникальной структурой поверхности. Каждое волокно микронных размеров покрыто по всей поверхности тончайшими микрофибриллами, отходящими от основного волокна. Вследствие этого образуется чрезвычайно развитая поверхность, обеспечиваются высокие сорбционные свойства и грязеемкость.

К настоящему времени разработаны и уже широко используются фильтры из полипропиленовых (ПП) микроволокон с толщиной очистки 1; 0,45; 0,3 мкм. На рисунке 1 показана увеличенная структура фильтроматериала с различным размером пор и рекомендованным размещением по потоку очищаемой жидкости.



Рис. 1. Структура фильтроматериала по ТУ У 54008400.001

Изучение показало, что полипропилен химически инертен и устойчив к агрессивным средам. В результате токсикологических испытаний тонковолокнистые полипропиленовые фильтры рекомендованы для очистки питьевой воды.

Примером фильтров из полипропиленовых фильтрующих элементов являются полипропиленовые фильтрующие элементы механической очистки PENTЕК серии Р, представленные на рисунке 2, которые изготовлены

из 100% вспененного полипропилена. Также используются фильтрующие элементы механической очистки PENTEK серии PD, DGD, WP и т.д.



Рис. 2. Полипропиленовые фильтрующие элементы механической очистки PENTEK серии P

Эти картриджи предназначены для очистки воды от механических примесей (песок, ржавчина, осадок). Они обладают высокой устойчивостью к воздействию бактерий и химикатов. Полипропиленовые волокна не привносят в воду дополнительных привкусов, запахов и окрашенности. Плотность волокон возрастает от внешней поверхности картриджа к внутренней. Это обеспечивает постепенную фильтрацию сначала более крупных, а затем более мелких частиц, благодаря чему картридж служит намного дольше - по сравнению с картриджами, имеющими однородную структуру [5].

Недостатками таких фильтров является неравномерность их поровой структуры, так как в процессе вспенивания затруднительно обеспечить стабильный размер пор.

Экономичность применения полимерных фильтров в различных процессах разделения зависит от возможности их регенерации после исчерпания ресурса работы, а при однократном использовании - от целесообразности утилизации. Среди широкого ассортимента таких фильтров минимальную стоимость имеют материалы, полученные на основе целлюлозосодержащего сырья и обеспечивающие очистку от частиц размером 5-10 мкм. Наибольшую стоимость имеют фильтры субмикронной очистки (<1,0 мкм), изготавливаемые путем переработки растворов или порошков полимеров [3].

Несмотря на недостатки, полимерные фильтры в отличие от зернистых имеют существенные достоинства:

- высокая скорость фильтрации - до 100 м³/час на 1 м² площади фильтра;
- занимаемая площадь в 5-10 раз меньше, чем у песчаных фильтров;
- затраты на электроэнергию у полимерных фильтров меньше в 6-7 раз, чем у песчаных фильтров;
- полимерные фильтры задерживают взвешенные вещества размером от 5 мкм;
- расходы на коагулянт в 2-3 раза ниже, чем у песчаных фильтров;

- полимерные фильтры до 450 м³/час изготавливаются в заводских условиях;
- затраты на строительство и текущее обслуживание снижаются в 8-10 раз;
- сокращение расходов на монтаж трубопроводов в 3-4 раза;
- работа в автоматическом режиме без постоянного присутствия персонала [3].

Еще одной тенденцией в водоподготовке в связи с расширением диапазона загрязнений источников природной воды является все более широкое использование мембранных технологий ультра- и гиперфильтрации. Процессы обратного осмоса требуют тщательную предварительную подготовку воды, для которой используются полимерные фильтры.

В результате рассмотрения современных тенденций в развитии процесса фильтрования можно сделать вывод о том, что параллельно развиваются два направления - это использование зернистых фильтров и фильтров полимерных. Повсеместно распространены зернистые фильтры, однако все большее применение имеют фильтры полимерные. Это связано, в основном, с ухудшением состояния водных источников, ужесточением требований к качеству воды, использованием мембранных технологий.

Список литературы

[1]. Фрог Б.Н., Левченко А.П. *Водоподготовка. Учебник для вузов.* 2-е изд. Москва, Изд-во МГУ, 2001, 680 с.

[2]. Цебренько М.В., Резанова Н.М., Цебренько И.А., Майборода М.Е. Бактерицидные тонковолокнистые фильтрующие материалы и фильтры на их основе. *Сб. тр. IX Междунар. научно – технической конф. Щелкино АР Крым, 11 - 15 июня, 2001г., с. 629 – 634.*

[3]. *Производство полимерных фильтров для очистки воды и стоков.* URL: <http://www.aquaprome.ru/> (дата обращения 30.10.2015).

[4]. Цебренько М. В. *Ультратонкие синтетические волокна.* Москва, Изд-во Химия, 1991, 241 с.

[5]. *Полипропиленовые фильтрующие элементы.* URL: <http://www.aquakultura.ru/catalog/group/86.htm> (дата обращения 30.10.2015).

Христофорова Мария Игоревна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maskaApril@Yandex.ru

Яковлева Ольга Владимировна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: yakowlewaolga24@mail.ru

Я.В. Котосова, К.С. Белоусова, Ю.М. Жукова

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Гальваническое производство является одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды. Главным образом страдают поверхностные и подземные водоемы, из-за образования большого объема сточных вод, которые содержат вредные примеси тяжелых металлов, неорганические кислоты и щелочи, поверхностно-активные вещества и другие высокотоксичные соединения. Также образуется большое количество твердых отходов, содержащих тяжелые металлы в малорастворимой форме.

Сточные воды гальванических производств являются наиболее опасными с точки зрения токсичности, так как в своем составе содержат высокотоксичные ингредиенты в виде тяжелых металлов.

Наиболее уязвимыми считаются водоемы рыбохозяйственного назначения, так как гальванические сточные воды губительны для флоры и фауны водоемов, оказывают вредное воздействие на микроорганизмы и на экосистему, в целом. Они обладают токсическим, канцерогенным, мутагенным, тератогенным и аллергенным действием.

Необходимость совершенствования технологии производства, дефицит водных ресурсов, повышение требований к степени очистки сточных вод, поставили предприятия перед необходимостью решения задач по созданию бессточных, безотходных и экологически безопасных гальванических производств. Для решения этих задач необходимо соблюдение определенных принципов построения водного хозяйства предприятия, внедрение оборотных циклов водоснабжения и разработка принципиально новых технологических процессов и схем[3].

Такое понятие как «экологический критерий», позволяет еще на стадии внедрения технологий дать экологическую оценку степени воздействия сточных вод на окружающую среду.

Согласно [2] экологический критерий определяется как отношение конечной концентрации компонента раствора в сбрасываемой (очищенной) воде ($C_{кон}$) к его ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов и прямо пропорционально зависит от максимальной концентрации компонента в технологическом растворе (C_{0max}), кратности разбавления промывными водами выносимого из ванны раствора (q/Q) и обратно пропорционально зависит от степени очистки сточных вод (α):

$$ЭК = \frac{C_{кон}}{ПДК} = \frac{C_{0max}}{ПДК} \times \frac{q}{Q} \times (1 - \alpha) \quad (1)$$

Чем больше экологический критерий, тем большую степень негативного влияния на окружающую среду представляет гальваническое производство, в частности концентрация в сточных водах вредного компонента. С учетом эффективной работы очистных сооружений, экологический критерий не должен превышать единицы, по всему цеху гальванопокрытий.

Использовать эту зависимость необходимо при проведении работ по снижению экологической опасности гальванопроизводства.

Были произведены замеры тяжелых металлов в составе сточных вод гальванического производства на одном из калужских заводов радиоэлектронной промышленности.

Таблица 1. Состав тяжелых металлов в сточных водах гальванического производства до и после очистки

Состав сточных вод радиоэлектронной промышленности	В исходной воде		В обработанной воде		ПДК рыб.вод.хоз.	
	мг/л	г/л	мг/л	г/л	мг/л	г/л
цинк	0,06	0,00006	0,004		0,01	0,00001
никель	0,015	0,000015	0,01		0,01	0,00001
медь	0,022	0,000022	0,002		0,001	0,000001
железо	1,04	0,0014	0,06		0,1	0,0001
расход воды на промывные операции				Q, л/ч	300	
скорость уноса технологического раствора				q, л/ч	0,06	

Согласно представленным данным, можно сделать вывод, что имеется превышение ПДК в обработанной воде по меди, по остальным веществам превышений ПДК не наблюдается.

Используя, данные приведенные в таблице 1 математическое выражение экологического критерия, можно рассчитать максимальную концентрацию компонента в технологическом растворе и степень очистки сточных вод, то есть эффективность очистных сооружений (таблица 2).

Из данных таблицы 2 следует, что очистные сооружения работают эффективно.

Таблица 2. Расчетная таблица

Состав сточных вод радиоэлектронной промышленности	Степень очистки СВ (α)	Максимальная концентрация компонента (C_{0max}), г/л	Экологический критерий (ЭК)
цинк	0,933333333	0,30	0,40
никель	0,333333333	0,075	1
медь	0,909090909	0,110	2
железо	0,942307692	7,00	0,8

Результаты расчета представлены на рис. 1.

Анализируя график, можно сделать вывод, что концентрация меди после очистных сооружений не удовлетворяет условию экологического критерия, так как ее значение равно 2. Превышение экологического критерия в два раза свидетельствует о том, что необходимо разработать комплекс мер направленных на снижение концентрации компонента в технологическом растворе и повысить эффективность очистного оборудования, заменой старого или с применением новых технологий. Никель находится на границе допустимого предела и соответствует 1. Мероприятия снижения концентрации по никелю так же необходимы. Железо и цинк удовлетворяют условию экологического критерия.

Можно так же утверждать, что при одновременном присутствии в сточных водах гальванопроизводства нескольких вредных компонентов проявляется их совместное, комбинированное действие на экосистему и человека.

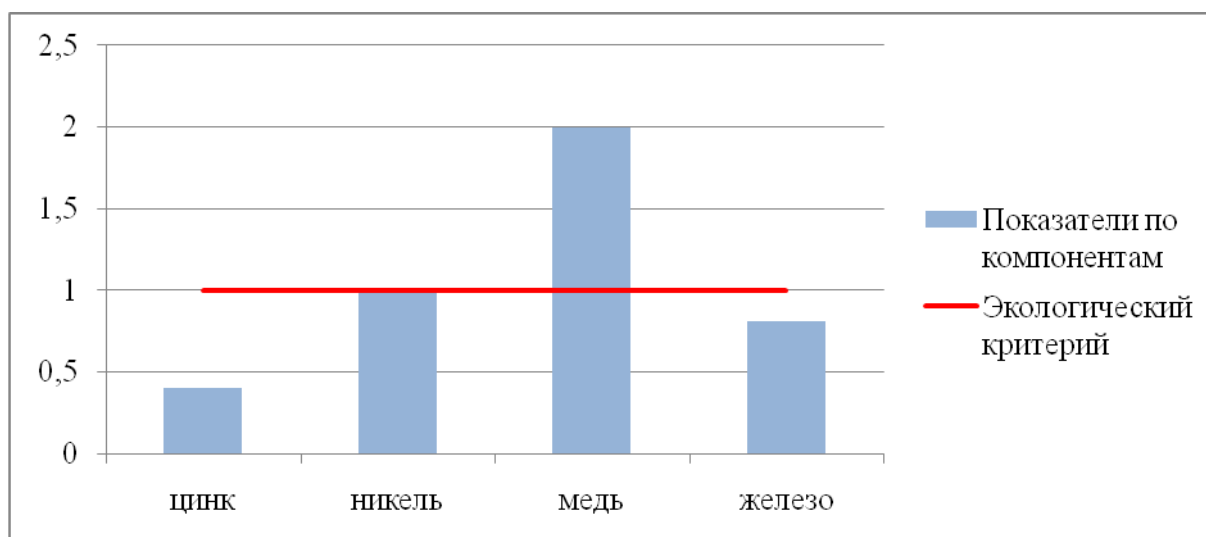


Рис. 1 График показателей экологического критерия по компонентам тяжелых металлов

На основе проведенного расчета можно сделать вывод, что экологический критерий напрямую зависит от максимальной концентрации компонента и степени очистки сточных вод гальванического производства.

Таким образом, снижение отрицательного воздействия на окружающую среду гальваническим производством достигается путем повышения эффективности очистных сооружений, внедрения ресурсосберегающих технологий, внедрения оборотного водоснабжения и снижением экологической опасности применяемых растворов и электролитов.

Эффективность вышеперечисленных мероприятий так же обеспечивается необходимостью анализа номенклатуры применяемых растворов и электролитов. И, при необходимости, возможной замены токсичных рас-

творов на менее токсичные или снижение концентрации токсичных компонентов в применяемых растворах.

Список литературы

[1]. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. Под редакцией профессора Кудрявцева В.Н. 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Глобус, 2002.

[2]. Лекция на 5 сессии Международной школы повышения квалификации 11-16 октября 1999 года в НИФХИ им. Л.Я.Карпова / Экология гальванических производств / Виноградов С.С.URL:http://www.galvanicrus.ru/lit/articles/galvanic_industries_ecology.php (дата обращения: 18.10.2015)

[3]. Гогина Е. С., Гуринович А. Д., Урецкий Е. А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения: Справочное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2012.

Котосова Яна Владимировна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kotosowa.ya@yandex.ru

Белоусова Кристина Сергеевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: snegurka092@mail.ru

Жукова Юлия Михайловна – канд. техн. наук, зам. зав. каф. по научной работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zjuliam@hotmail.com

СЕКЦИЯ 7.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И КОМПЛЕКСАХ

Ю.С. Жидких, А.И. Пономарев

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. Город Калуга является областным центром. Население в городе на 2015-й год составляет 342 936 человек [1]. Число автомобилей ежегодно растёт и на 2015-й год составляет около 350 на 1000 жителей, что превышает средний показатель по России [2]. Однако, условия дорожного движения оставляют желать лучшего. Существенной проблемой являются заторы на дорогах по причине следующих факторов: узкие улицы областного центра, дорожно-транспортные происшествия, неблагоприятные погодные условия и неотлаженная работа средств регулирования движения (светофоров и т.п.). Данную проблему может решить автоматическая система управления движением. Данная система позволяет:

- наладить дорожное движение в городе по полученным данным со средств наблюдения;
- организовывать «зеленый» коридор специальным службам: скорой помощи, полиции, дорожно-патрульной службы (ДПС), а также кортежам высокопоставленных должностных лиц;
- составлять статистику движения в городе;
- публиковать актуальную информацию в сети Интернет для участников дорожного движения с целью изменения маршрута;
- обеспечивать безопасность движения пешеходов на перекрестках.

Составные части автоматической системы управления движением (АСУД) и их предназначение. Данная система включает детектор трафика движения, светофор, центр телеавтоматического движения транспорта, специалиста государственной инспекции безопасности дорожного движения (ГИБДД).

В центре телеавтоматического движения транспорта находится оборудование и программное обеспечение для приема данных с детекторов трафика. Также в центре находятся специалисты ГИБДД. Светофор получает сигнал из центра организации движения и переключает сигнал на указанное время. Детектор трафика регистрирует количество проезжающих транспортных средств в единицу времени, разделяет транспортные средства по типу (грузовые, легковые и т.д.), регистрирует скорость транспортных потоков и её изменение, оптимизирует дорожное движение, автоматически распознает, регистрирует и уведомляет специалиста ГИБДД об инцидентах на контролируемом участке (превышение скорости, выезд на встречную полосу, проезд перекрестка на запрещающий сигнал светофора и т.п.)

Специалист ГИБДД следит за дорожным движением в городе корректирует регулировку движения при сбое в системе, при необходимости в организации проезда скорой медицинской помощи, полиции, ДПС, высокопоставленных чиновников.

Принцип работы АСУД. Над определенным участком дороги на некоторой высоте устанавливается детектор трафика движения. Сигнал от него поступает в центр телеавтоматического движения транспорта. В этом центре происходит выделение подвижных транспортных средств и определение различных интегральных оценок [3]. После этого система рассчитывает и выбирает оптимальное время работы светофора для устранения затора на участке.

Если на участке необходимо организовать проезд специальному транспорту, то специалист ГИБДД вмешивается в работу системы и организовывает «зеленый коридор». В ночное время светофор показывает разрешающий световой сигнал для участка, на котором более интенсивное движение. Светофор изменяет сигнал тогда, когда детектор обнаружит транспортное средство или пешехода на менее нагруженном участке (рис. 1). Также система оповещает специалиста ГИБДД о дорожно-транспортном происшествии, чтобы оператор смог выслать сотрудников полиции на данный участок.

Выводы. Калуга – быстрорастущий и экономически развивающийся город с высокими темпами автомобилизации. Организация дорожного движения Калуги нуждается в перевооружении, централизации и оптимизации. Опыт других стран показывает, что системы автоматического управления движением улучшает дорожное движение в городе и облегчают жизнь его жителям и гостям. Так, например, благодаря подобным нововведениям количество ДТП на французских дорогах снизилось за два года на треть [4]. Таким образом, предлагается внедрять систему автоматического управления движением в Калуге.

Список использованных источников:

[1]. Википедия - свободная энциклопедия [Электронный ресурс]: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Калуга> (дата обращения 29.10.2015).

[2]. Информационный портал «Калуга-поиск» [Электронный ресурс]: <http://www.kaluga-poisk.ru/Новости-Калуга/Новости-Калуга-События/Калужская-область-в-лидерах-по-количеству-автомобилей-у-населения> (дата обращения 29.10.2015).

[3]. Автомобильный форум [Электронный ресурс]: http://форум-авто35.рф/img/users/2010/11/1679_i2l_294556097.jpg (дата обращения 29.10.2015).

[4]. Федеральная целевая программа [Электронный ресурс]: http://www.fcr-pbdd.ru/special_equipment/20043/ (дата обращения 29.10.2015).

Жидких Юрий Сергеевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zhidkih.yurij@yandex.ru

Пономарев Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

А.И. Пономарев, А.А. Калинин

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЛОМОК ТОРСИОННОГО ВАЛА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ РУЛЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. Усилители рулевого управления автомобилей создаются и развиваются несколько десятилетий. Это вызвано увеличением выпуска автомобилей, ростом конкуренции, повышением скорости и необходимостью повышения маневренности. Первоначально были разработаны и созданы гидроусилители. Это обуславливалось отсутствием требуемых электро- и электронных компонентов и недостаточной мощностью автономного источника питания. Появление высокомоментных двигателей и силовых ключей МОБРЕТ дало толчок к разработке и развитию электроусилителя руля [1]. В отечественной автопромышленности электроусилитель рулевого управления стали внедрять и использовать около пяти лет назад. Опыт эксплуатации электроусилителей на отечественных автомобилях показал, что наиболее распространенными являются такие поломки и неисправности как [2,3]:

- - разрыв и замыкание электрической цепи;
- - перегорания мотора
- - поломка датчика скорости;
- - поломка промежуточного торсионного вала (торсиона).

Самым опасным отказом электроусилителя руля является отказ вследствие поломки торсиона, так как при этом теряется полное управление движением автомобиля. При других вышеуказанных неисправностях подается сигнал в электронный блок управления и электроусилитель руля отключается, тем самым рулевое управления остается под контролем, но усилие на рулевом колесе возрастает.

Для исследования причин возникновения поломки торсиона в процессе эксплуатации усилителя было проведено сравнительное исследование торсионов.

Исследование торсиона. Исследования проводились в центральной лаборатории металловедения и термообработки ОАО «Калужский турбинный завод». Два торсиона были изготовлены из пружинной стали 60С2А. Торсионы отработали на ресурсных испытаниях разную продолжительность времени. Один с условным клеймом «Х» (хороший) отработал два ресурса испытаний без поломок головок, внешний вид его представлен на рис. 1. Другой с условным клеймом «П» (плохой) отработал около 1% ресурса до поломки одной из головок в зоне перехода галтели с радиусом 6 мм на диаметр 5,95 мм. Вторая головка на нём бы-

ла сломана при выпрессовке штифта для изъятия детали (рис. 2). Оба торсиона являются деталями импортного производства, материал и технология изготовления использованы двумя разными китайскими фирмами. Для установления причин поломки торсиона с условным клеймом «П» были проведены анализы проверки химического состава материала, замеров твёрдости по разным зонам торсионов и выполнен макро- и микроанализ образцов.

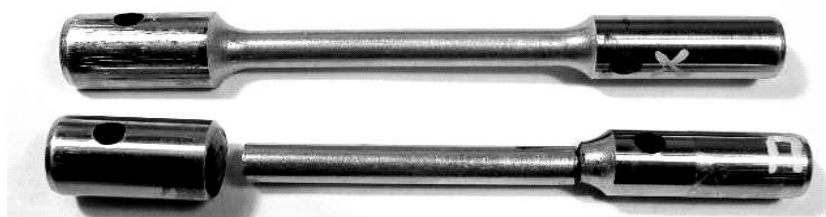


Рис. 1 Общий вид двух торсионов

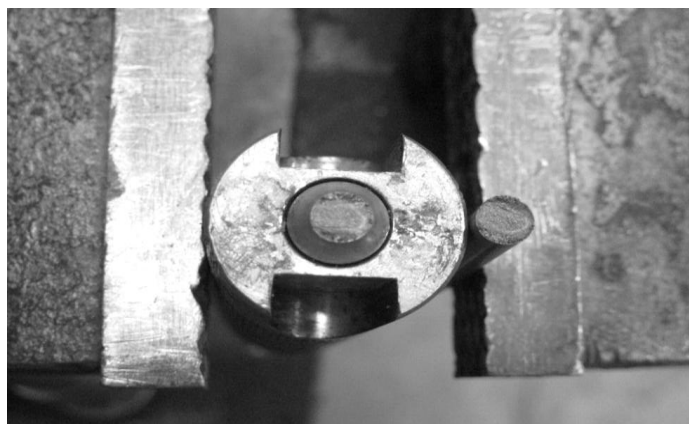


Рис. 2 Место разрыва торсиона

Результаты исследования химического состава. Спектральным анализом материала по зачищенным лыскам на головках торсионов установлено, что они имеют между собой различия по основным легирующим элементам – кремнию и марганцу, а так же незначительную разницу по содержанию углерода, что указывает на принадлежность деталей к разным плавкам металла для получения прутков из стали 60С2А. При этом обе детали по содержанию основных элементов и примесей удовлетворяют требованиям химического состава для пружинной стали 60С2А по ГОСТ 14959-79.

Результаты исследования твёрдости. Получены на отдельных сечениях диаметров у торсиона с клеймом «П» более низкие значения твёрдости по сравнению с требованиями чертежа, а именно:

- на головке $\varnothing 12$ – HRC 21...29 везде по длине при требовании HRC 45...49 по концам головки и HRC 25...35 в средней части головки в зоне «И»;
- на головке $\varnothing 10$ такая же твёрдость – HRC 21...29 по всей длине при тех же требованиях к разной твёрдости по зонам, что и на $\varnothing 12$;

- на средней части на $\varnothing 5,95$ по всей её длине твёрдость равна HRC 28...38, при требовании чертежа HRC 45...49. Однако при перепроверке твёрдости металла на зачищенной позже лыске получены другие значения твёрдости – приближённые к верхнему пределу нормального значения HRC 48...49. Расхождения в результатах замеров твёрдости объясняются наличием обезуглероженного слоя на исследуемом диаметре, выявленном при последующем микроанализе. Результаты замеров твёрдости у торсиона с клеймом «П» показали, что твёрдость не отвечает требованиям чертежа на деталь. Низкая твёрдость металла на головках и, соответственно, на галтелях соотносится с низкими значениями предела прочности при растяжении для нормально термобработанной стали 60С2А твёрдостью HRC 45...49. Если необходимые значения твёрдости по зонам на торсионе получают нагревами в индукторе, то факт получения низкой твёрдости на детали указывает на явные нарушения в технологии термообработки, на несоблюдение выдержки и температуры при индукционном нагреве заготовки торсиона. Твёрдость металла у торсиона с клеймом «Х» на всех аналогичных зонах по длине детали выше, чем у сломанного торсиона с клеймом «П», но она, тем не менее, ниже значений, заданных чертежом.

Результаты исследования микроструктуры образцов. У торсиона с клеймом «Х» на головке $\varnothing 10$ мм в зоне с твёрдостью HRC 36...39 – отпущенный мартенсит (рис. 3), в зоне с твёрдостью HRC 29...34 – сорбит, на $\varnothing 12$ мм микроструктура – сорбит и сорбитообразный перлит (твёрдость HRC 28...30), на $\varnothing 5,95$ микроструктура – отпущенный мартенсит. У торсиона с клеймом «П» на головках $\varnothing 10$ и $\varnothing 12$ микроструктура практически одинаковая – сорбит и участки феррита по границам перлитного зерна (рис. 4), на $\varnothing 5,95$ микроструктура – отпущенный мартенсит.

Выводы. По результатам проверки химсостава материала торсионов с клеймами «Х» и «П» установлено, что он соответствует стали 60С2А, но имеются различия в химсоставе между образцами по содержанию кремния и марганца, что указывает на изготовление торсионов из металла разных плавок. Наличие загрязнения неметаллическими включениями 3 балла по шкалам ГОСТ 1778-70 в материале торсиона с клеймом «П» указывает на более худшее по качеству состояние металла, чем у торсиона с клеймом «Х», у которого загрязнение неметаллическими включениями не превышает 1 балла. Зафиксирована в целом более низкая твёрдость по зонам у торсиона с клеймом «П» в сравнении с твёрдостью по аналогичным зонам у торсиона с клеймом «Х». Вероятной причиной быстрой поломки торсиона с клеймом «П» во время ресурсных испытаний явилась низкая твёрдость металла по зонам детали, не соответствующая требованию чертежа, в сочетании с загрязнением металла неметаллическими включениями и обезуглероживанием стали на самом узком сечении детали.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют, что причиной поломок торсионов в процессе эксплуатации вероятнее всего явля-

ются несовершенство технологии их термообработки при изготовлении или качество металла после плавки, нежели несовершенство конструктивного исполнения торсиона.

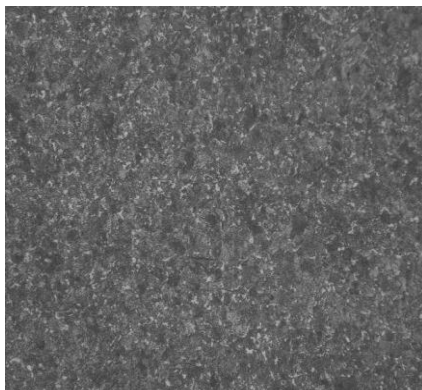


Рис 3. Микроструктура металла в зоне отпуски головки у торсиона с клеймом «Х» при увеличении (x500)

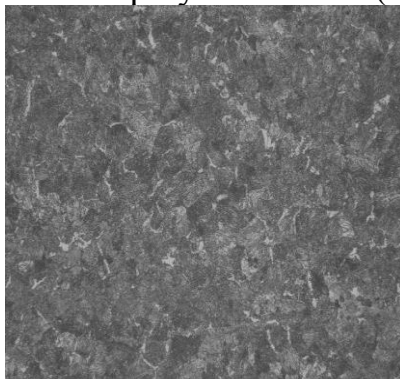


Рис. 4 Микроструктура металла торсиона с клеймом «П» на обеих головках при увеличении (x500)

Список использованных источников:

[1] Доманов А.В. Разработка и исследование электроусилителя рулевого управления легковых автомобилей на основе бесконтактных двигателей. Дис. канд. тех. наук. Ульяновск, 2002, 135 с.

[2] Портал Черноземья об эксплуатации российских автомобилей. Ремонт электроусилителя руля на Калине [Электронный ресурс]: <http://expertvaz.ru/lada-kalina/.html> (дата обращения 28.10.2015).

[3] Системы современного автомобиля . Электроусилитель рулевого управления [Электронный ресурс]: http://systemsauto.ru/wheel/electro_steering_gear.html (дата обращения 28.10.2015).

Пономарев Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

Калинин Александр Александрович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: esp1614@yandex.ru

В.М. Алакин, С.А. Плахов, Г.С. Никитин

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ БИТЕРА В КОМПЛЕКСЕ С РОТОРНО-ПАЛЬЦЕВОЙ СЕПАРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Картофель является одной из самых распространенных сельскохозяйственных культур. Во всем мире под посадками картофеля занято 18,653 млн. гектар. С 2010 года Россия занимает третье место по производству картофеля. В 2014 году в РФ было собрано более 31,5 млн. тонн, что на 13,16 млн. тонн превышает показатели США [1]. Причем более 70% производимого в США картофеля приходится на крупные фермерские хозяйства и агрохолдинги, использующие высокопроизводительные прицепные и самоходные картофелеуборочные комбайны. В России доля крупных фермерских хозяйств в общем объеме производства картофеля увеличилась с 11% в 2008 году до 15% в 2014 году, в то же время оставшиеся 85% приходится на малые и средние фермерские хозяйства. Использование дорогостоящих прицепных и самоходных картофелеуборочных комбайнов, в хозяйствах данного типа, экономически нецелесообразно. Поэтому простые и недорогие картофелекопатели элеваторного типа получили наибольшее распространение в условиях малых и средних фермерских хозяйств. Но они обладают рядом недостатков, таких как: высокая энергоемкость, металлоемкость и повреждаемость клубней, вследствие использования металлических рабочих органов.

Картофелекопатель с роторно-пальцевой сепарирующей поверхностью (рис.1) лишен этих недостатков, т.к. в качестве основных рабочих органов используются роторно-пальцевые рабочие органы, выполненные из резины. Это снижает повреждаемость клубней, энергоемкость, металлоемкость и общий вес машины.

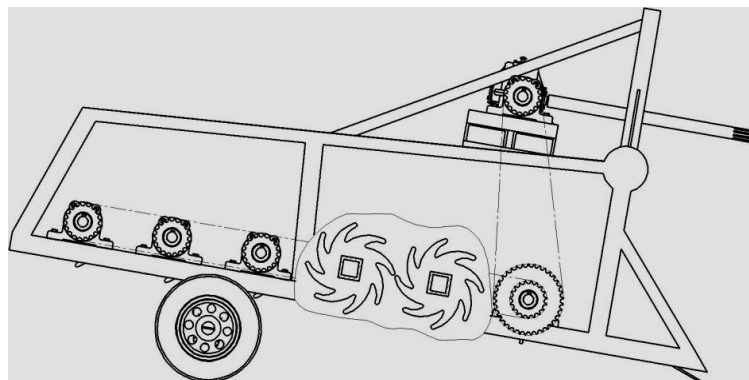


Рис 1 Картофелекопатель с роторно-пальцевой сепарирующей поверхностью

Роторно-пальцевая сепарирующая поверхность состоит из набора параллельных валов с роторно-пальцевыми рабочими органами, установленных без перекрытия в зоне примыкания соседних рядов. В процессе движения картофелесодержащего пласта по сепарирующей поверхности происходит постепенное отделение почвы от клубней. Перемещение клубней по поверхности роторов осуществляется за счет силы трения F_{TP} (рис.2) зависящей от угла γ .

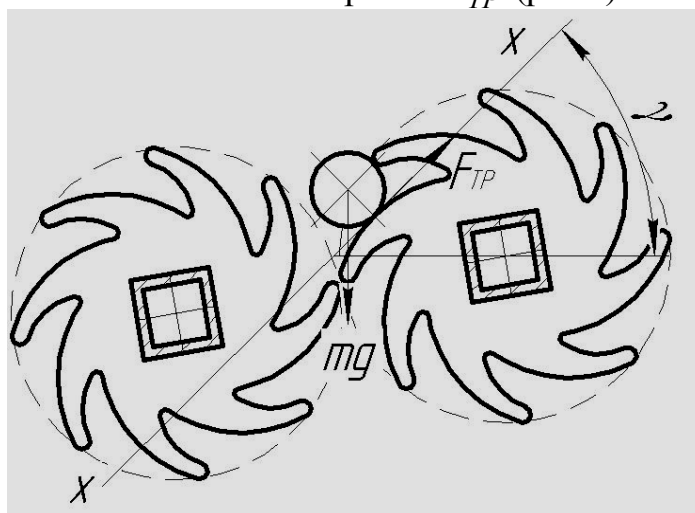


Рис 2 Схема взаимодействия клубня с поверхностью роторно-пальцевого рабочего органа

Форма рабочего органа обеспечивает устойчивое перемещение клубня из зоны защемления на вершину рабочего органа, в то же время силы трения F_{TP} , из-за большого угла наклона плоскости xx γ , недостаточно для поднятия клубненосного пласта от лемехов до первого вала сепарирующей поверхности [3]. В связи с этим возникает необходимость установки битера между лемехами и первым валом сепарирующей поверхности.

Для устойчивого перемещения клубненосного пласта и снижения повреждаемости клубней необходимо определить оптимальные режимы работы битера.

Для расчета сопротивлением воздуха пренебрегаем, а диаметр битера принимаем равным диаметру роторно-пальцевых рабочих органов. После отрыва от лопасти битера клубень будет находиться под действием силы тяжести P , и иметь скорость V_0 и угол α (рис.3). Проекции силы тяжести на оси [2]:

$$P_x = 0, P_y = -P = -mg \quad (1)$$

где m - масса клубня, кг; g - ускорение свободного падения, м/с².

Подставляя эти величины в уравнения криволинейного движения точки получаем:

$$\frac{dV_x}{dt} = 0, \frac{dV_y}{dt} = -g, \quad (2)$$

где V_x , V_y - проекции скорости движения клубня на оси координат x , y .

Интегрируя эти уравнения получаем:

$$V_X = C_1, V_Y = -gt + C_2 \quad (3)$$

Подставляя начальные условия (при $t = 0$) находим постоянные C_1, C_2 :

$$C_1 = V_0 \cos \alpha, C_2 = V_0 \sin \alpha \quad (4)$$

Уравнения движения тогда примут вид:

$$\frac{dx}{dt} = V_0 \cos \alpha, \frac{dy}{dt} = V_0 \sin \alpha - gt \quad (5)$$

Интегрируя эти уравнения и подставляя начальные данные $C_1 = C_2 = 0$ получаем:

$$x = V_0 t \cos \alpha, y = V_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} \quad (6)$$

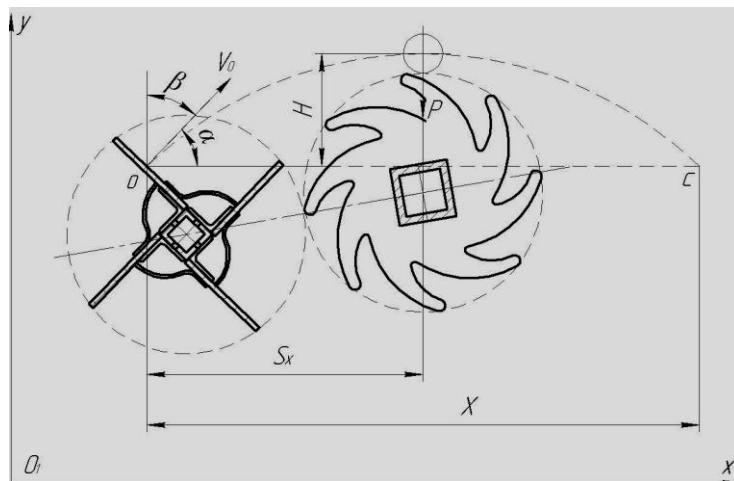


Рис. 3. Схема движения клубня

Уравнение движения клубня:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha} \quad (7)$$

Горизонтальная дальность полета клубня:

$$X = \frac{V_0^2}{g} \sin 2\alpha \quad (8)$$

Наивысшая точка полета клубня H будет находиться посередине горизонтальной дальности полета X :

$$H = \frac{V_0^2}{2g} \sin^2 \alpha \quad (9)$$

Исходя из конструкции картофелекопателя наивысшая точка полета клубня $H = 0,21 \dots 0,24 \text{ м}$, а расстояние от точки отрыва клубня от поверхности лопастей до вершины роторно-пальцевого рабочего органа $S_X = 0,39 \dots 0,45 \text{ м}$.

При данной начальной скорости V_0 в одну и ту же точку можно попасть двумя траекториями: настильной ($\alpha < 45^\circ$) и навесной ($\beta = 90^\circ - \alpha > 45^\circ$).

Анализ настильной траектории показывает, что при $\alpha = 45^\circ$ и $H = 0,21 \text{ м}$ начальная скорость $V_0 = 3 \text{ м/с}$, а максимальная дальность полета клубня $X = 0,9 \text{ м}$. Наивысшую точку полета клубень достигает на расстоянии $S_X = 0,5X = 0,45 \text{ м}$, что соответствует заданным параметрам.

Анализ навесной траектории показывает, что при $\alpha = 70^\circ$ и $H = 0,23 \text{ м}$ начальная скорость $V_0 = 2,2 \text{ м/с}$, а максимальная дальность полета клубня $X = 0,32 \text{ м}$. Наивысшую точку полета клубень достигает на расстоянии $S_X = 0,5X = 0,16 \text{ м}$. Следовательно, чтобы обеспечить необходимую дальность полета S_X , при навесной траектории, необходимо снижать угол α и увеличивать H , что в свою очередь приведет к росту повреждаемости клубней.

Исходя из этого можно сделать вывод, что настильная траектория, при $\alpha = 45^\circ$, обеспечивает подъем клубней на первый вал сепарирующей поверхности, в тоже время минимальная начальная скорость клубней $V_{0\min}$ будет равна 3 м/с , а минимальная угловая скорость битера ω_{\min} будет равна 30 рад/с .

Список использованных источников:

[1]. Министерство сельского хозяйства РФ. [Электронный ресурс: <http://www.mcsx.ru> (дата обращения: 30.10.2015 г.)

[2]. Резников Л.А., Ещенко В.Т. Основы проектирования и расчет сельскохозяйственных машин. – М.: Агропромиздат, 1991. – С. 425 – 446.

[3]. Туболев С.С., Шеломенцев С.И., Пшеченков К.А. Машинные технологии и техника для производства картофеля. - М.: Агроспас, 2010. - С. 176 - 193.

Алакин Виктор Михайлович – канд. техн. наук, зам. директора по инновациям КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alakin@bmstu-kaluga.ru

Плахов Сергей Александрович – канд. техн. наук, старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sa.plahov@yandex.ru

Никитин Геннадий Сергеевич - аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: aser.work@yandex.ru

Е.С. Зуев, С.А. Голубина

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ ПРОВОЛОКИ ПРИ УПРОЧНЕНИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время получают развитие полуавтоматические процессы дуговой сварки и наплавки с импульсной подачей присадочной проволоки.

Применительно к наплавке отвалов плугов, являющихся тонкостенными деталями сложной конфигурации со значительной площадью рабочих поверхностей, наиболее приемлемым способом представляется полуавтоматическая вибродуговая наплавка [1].

При реализации процесса упрочнения отвалов плугов разработанным устройством [2], обеспечивающим возвратно-поступательное движение присадочного материала, перемещение торца проволоки ΔST ПР является суммой продольных перемещений проволоки на выходе подающего механизма ΔS ПР М и изменение длины проволоки в подающем механизме из-за её изгиба ΔS ПР И (рис. 1).

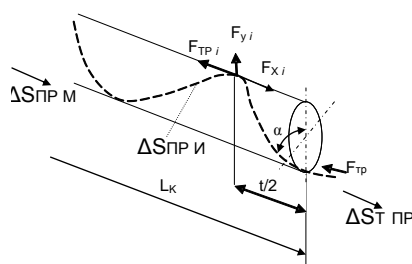


Рис. 1. Движение присадочной проволоки в канале

За счет значительной длины направляющего канала и малого диаметра проволоки при проталкивании происходит потеря устойчивости [3]. Проволока изгибается в канале и упирается в стенки канала. В результате возникает сила трения.

Условием постоянной подачи присадочного материала является превышение величины силы проталкивания над силой трения:

$$F_{тр} = \Delta F = F_{прот} - F_{вых}$$

В расчетах на устойчивость используется схема закрепления (рис.2). Для определения разницы сил проталкивания и на выходе из канала необходимо вычислить силу трения в точке контакта проволоки с направляющей.

$$F_{тр} = R \cdot k_{тр},$$

где R – реакция в точке касания, $k_{тр}$ – коэффициент трения.

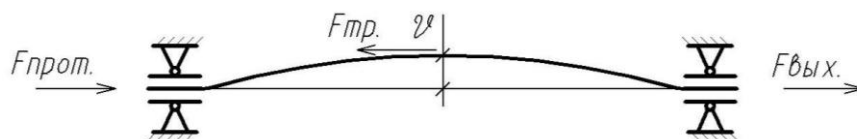


Рис. 2 Схема для расчета устойчивости проволоки

Для определения реакции R система рассматривается как статически неопределимая. Решая задачу, реакция находится как зависимость от силы проталкивания.

Методом сил раскрывается статически неопределимая система.

$$\delta_{11} \cdot R + \Delta_{1F} = 0$$

Коэффициент δ_{11} и свободный член Δ_{1F} находится с помощью интеграла Мора.

Изгибающий момент в точке касания будет равен произведению силы проталкивания на величину изгиба проволоки в точке касания. Величина изгиба определяется с использованием задачи Эйлера.

$$v(z) = c_1 \cdot \text{Sin}(k \cdot z),$$

где c_1 – прогиб стержня в середине длины, k – коэффициент $\sqrt{\frac{F}{E \cdot I_x}}$, зависящий от материала проволоки и канала, z – координаты, отсчитанные в данном направлении.

Таким образом, при исследовании устойчивости в процессе подачи присадочной проволоки в процессе упрочнения деталей почвообрабатывающих машин следует использовать метод сил, интеграл Мора и формулу Эйлера.

Список использованных источников:

[1]. Булычев В.В., Пономарёв А.И., Голубина С.А. Совершенствование технологий упрочняющей наплавки деталей плугов на основе применения вибродуговых процессов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. - №4 – С. 54-56.

[2]. Голубина С.А., Булычев В.В. Экспериментальное устройство для исследования процесса вибродуговой полуавтоматической сварки и наплавки// Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении, Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 2005. – С. 67-68.

[3]. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Соппротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2000. – 560 с.: - ил.

Зуев Евгений Сергеевич - старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: eszuev@gmail.com

Голубина Светлана Александровна - старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: asbina@yandex.ru

Д.С. Кузьмин, А.И. Пономарев, О.А. Царев

К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВКЕ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ НА АВТОМОБИЛЬ ГАЗЕЛЬ NEXT

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время всё большее распространение получают системы предпускового подогрева двигателя. Среди них выделяют, электрические подогреватели, тепловые аккумуляторы и автономные системы подогрева. Для установки предпускового подогревателя на автомобиль Газель Next был проведён анализ имеющихся на рынке систем предпускового подогрева.

Среди электрических предпусковых подогревателей (рис. 1) на отечественном рынке часто встречаются подогреватель финского производства Calix, отечественного производства – «Северс» и «Лестар», а также более дорогое изделие из Норвегии Defa, имеющее не только нагревательный элемент для системы охлаждения, но и тепловентилятор, нагревающий воздух в салоне автомобиля и зарядное устройство, подзаряжающее аккумулятор в течение ночи [1].

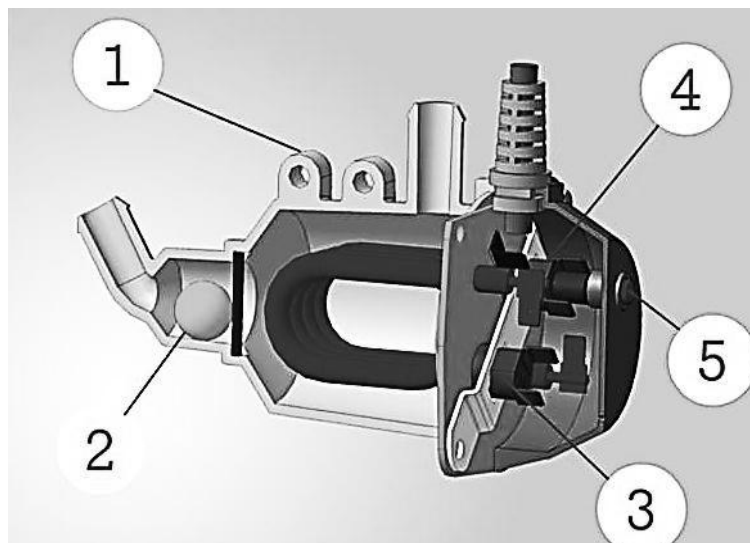


Рис. 1 Электрический предпусковой подогреватель

1 – крепление подогревателя; 2 – клапан шариковый; 3 – терморегулятор; 4 - термовыключатель; 5 – кнопка возврата термовыключателя.

Все названные устройства нагревают жидкость в системе охлаждения двигателя, работая по принципу кипятильника.

Положительными качествами таких систем являются:

- отсутствие расхода топлива;
- отсутствие затрат энергии аккумулятора, а в некоторых случаях даже пополнение.

Отрицательным качеством является необходимость иметь на стоянке розетку с напряжением 220/230В.

Еще одним устройством, обеспечивающим предпусковой подогрев двигателя, является тепловой аккумулятор (рис. 2), так называемый термос, в котором находится жидкость того же объема, что и в системе охлаждения [2]. Это устройство способно некоторое время хранить горячую охлаждающую жидкость и перед запуском заменять её на холодную с помощью электронасоса. Известными марками являются «Автотерм», «Гольфстрим и, УОПД-0,8 [1].



Рис. 2 Тепловой аккумулятор

Преимуществом такой системы можно считать то, что она не нуждается в посторонней энергии для нагрева охлаждающей жидкости автомобиля.

К недостаткам относятся:

- необходимость регулярных поездок автомобиля для обновления в термосе горячей охлаждающей жидкости;
- громоздкость самой системы, так как она должна содержать такое же количество охлаждающей жидкости, что и система охлаждения двигателя.

Третьей системой предпускового подогрева двигателя в приведённой классификации являются автономные подогреватели (рис. 3) [3]. На российском рынке среди автономных подогревателей наиболее популярной являются продукция немецкой фирмы Webasto - подогреватель Webasto Thermo Top C, Hydronic B4W SC от компании Eberspacher и «Бинар-5» самарской компании «Теплостар» [1].

Автономный подогреватель имеет следующий принцип работы. С помощью энергии аккумулятора нагревается штифт накаливания. Также от аккумулятора начинает работать собственный нагнетатель подогревателя,

который закачивает воздух из атмосферы, и насос, закачивающий топливо из бака. Попадая на нагретый штифтом испаритель, топливо начинает испаряться и смешиваться с воздухом. Штифт продолжает разогреваться и поджигает топливовоздушную смесь. Далее смесь горит сама, нагревая теплообменник и не расходуя при этом энергию аккумулятора. Поскольку автономный подогреватель подсоединен к системе охлаждения автомобиля, он собственным насосом прокачивает охлаждающую жидкость через теплообменник, тем самым, нагревая её.

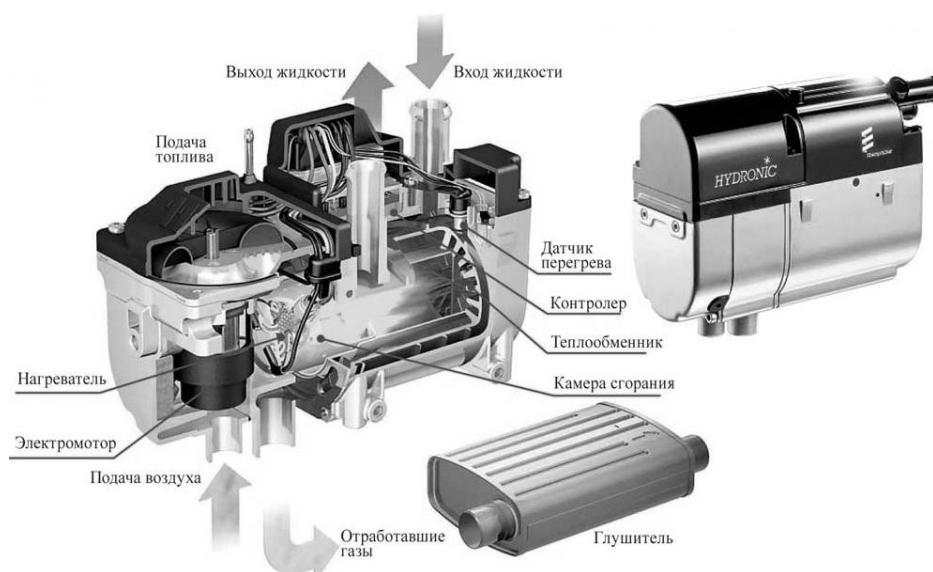


Рис. 3 Автономный предпусковой подогреватель

Когда температура жидкости достигает 30 градусов Цельсия, блок управления подогревателя включает вентилятор печки автомобиля. При достижении температуры жидкости более 70 градусов Цельсия мощность подогревателя снижается наполовину. Если температура продолжает расти, подогреватель переходит в ждущий режим, при этом работает только нагнетатель для продувки камеры сгорания, жидкостной насос и вентилятор печки. Когда температура снижается примерно до 50 градусов Цельсия, подогреватель снова включается.

Эту систему можно использовать и как «догреватель» двигателя, что особенно актуально для дизелей. Еще одной полезной функцией подогревателя является включение отопителя салона, ее можно использовать во время остановок, для прогрева салона без работы двигателя.

Анализ работы автономных подогревателей показал, что:

- при расходе топлива менее литра в час подогреватель может нагреть двигатель до рабочей температуры за 40-50 минут;
- нет необходимости в использовании внешних источников питания.

В то же время нужно отметить, что автономные подогреватели значительно дороже электрических подогревателей и тепловых аккумуляторов. Кроме того, надежность и долговечность системы подогрева зависит от качества топлива и технического обслуживания в процессе эксплуатации. Ещё одним недостатком является необходимость постоянного контроля уровня заряда аккумулятора для надежного запуска подогревателя.

Наиболее эффективной и практичной является система автономного предпускового подогрева двигателя, так как она не нуждается в стационарной электросети в отличие от электрических подогревателей и относительно мала по отношению к тепловому аккумулятору. Эта система применяется в холодное время года, тем самым позволяет уменьшить вязкость масла, крутящий момент на коленчатом валу двигателя, и нагрузку на цилиндро-поршневую группу при пуске двигателя за счет нагрева трущихся деталей.

Таким образом, для автомобиля Газель Next целесообразно применить именно систему автономного предпускового подогрева двигателя.

Список использованных источников:

[1]. Найман В.А. Всё о предпусковых обогревателях и отопителях. – М.: АСТ, Астрель, Хранитель, 2007. – 160 с.

[2]. Тест предпусковых подогревателей [Электронный ресурс]: <http://catalog.autodela.ru/article/view/339.html> (дата обращения 28.10.2015).

[3]. Предпусковой подогреватель – лучшая защита двигателя от мороза [Электронный ресурс]: <http://avtomotoprof.ru/avtoakssesuaryi.html> (дата обращения 28.10.2015).

Кузьмин Дмитрий Сергеевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dskuzmin2015@yandex.ru

Пономарев Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

Царев Олег Александрович – старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: caoev@rambler.ru

Е.В. Левицкая, В.М. Алакин

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА ЭЛЕКТРОУСИЛИТЕЛЯ РУЛЯ ДЛЯ ПОЛНОПРИВОДНОГО АВТОМОБИЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВАЗ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Основания и предпосылки технологического и эксплуатационного характера указывающие на необходимость модернизации автомобиля ВАЗ 21214 (Нива).

С точки зрения инженерной конструкции гидроусилителя руля (ГУР) более сложная система, нежели электрический усилитель руля современного автомобиля. Гидравлический насос, приводимый в действие приводным ремнем или электродвигателем, сложная рулевая рейка, шланги и жидкости занимают много подкапотного пространства автомобиля. А в современном автомобиле его и так не слишком много. Здесь более выгодно смотрится электроусилитель руля (ЭУР), имеющий электромотор, набор датчиков и простой, и легкий реечный механизм. В обслуживании ГУР также много дороже и сложнее, в сравнении с ЭУР. надежность ЭУР так же несколько выше за счет отсутствия в ней ремней, сальников, шлангов, прокладок и жидкостей. Достоинствами ЭУР в сравнении с гидравлическим усилителем руля (ГУР) являются:

- простота конструкции и обслуживания. ГУР в отличие от ЭУР требует постоянного контроля уровня жидкости, обслуживания насоса;
- компактность механизма. ЭУР устанавливается на рулевой вал и не требует дополнительного места под капотом автомобиля;
- экономичность (электродвигатель ЭУР включается только при вращении руля, в то время как насос ГУР работает постоянно, создавая дополнительную нагрузку на двигатель тем самым увеличивая расход топлива);
- простота настройки (только изменяя программу ЭБУ, возможно добиться различных режимов работы при различных обстоятельствах, как, например, уменьшение компенсационного усилия при увеличении скорости автомобиля, а в случае ГУР для этого потребуются дополнительные активные элементы в конструкции). [3]

Недостатки ЭУР в сравнении с ГУР:

- малая (меньшая) мощность, обусловленная мощностью электрогенератора. ЭУР устанавливается только на лёгкие автомобили, недостаточная мощность не позволит использовать его на тяжелых внедорожниках или грузовиках, не опасаясь за нагрузку на бортовую сеть автомобиля и электродвигатель усилителя;
- при тяжёлом режиме работы, например, при длительном движении по раскисшей грунтовой дороге электродвигатель ЭУР перегревается. Для предотвращения его отказа блок управления начинает ограничивать максимальный ток, соответственно руль "затяжелается", и в конечном итоге отключается совсем;

- возникновение опасности при движении в случае отказа обоих типов усиления руля (реакция водителя может быть недостаточной для своевременного обнаружения отказа системы усиления руля, если это произойдет в момент поворота транспортного средства). [3]

Поломка ГУР, в особенности сопровождающаяся потерей рабочей жидкости, означает полную невозможность продолжения движения своим ходом. В то время как поломка ЭУР окажет воздействие на управляемость автомобиля лишь необходимостью прилагать большие усилия при вращении баранки руля.

При любом варианте построения в электроусилителе рулевого управления можно выделить следующие основные элементы:

- Входные датчики. Они осуществляют съем информации относительно угла поворота рулевого колеса, а также его крутящий момент;
- Электронный блок управления. Он обеспечивает сбор информации от датчиков, входящих в состав системы, и формирование электрических сигналов управления. Также данный блок использует в работе и информацию датчиков коленвала и датчиков ABS автомобиля, которые поступают в блок из устройств управления соответствующими системами;
- Исполнительное устройство. В качестве исполнительного устройства используется электродвигатель. Как правило, в системе применяются асинхронные двигатели.

Принцип работы усилителя рулевого управления следующий: при повороте рулевого колеса усилие передается посредством торсиона на рулевой механизм автомобиля. Имеющийся датчик крутящего момента передает полученное значение в электронный блок управления для дальнейшей обработки. В ЭБУ также поступает информация от датчика угла поворота рулевого колеса автомобиля, датчиков скорости (ABS) и датчика коленчатого вала. Полученные данные обрабатываются блоком управления, и на их основе, с применением сложного алгоритма расчета формируется управляющий сигнал нужной полярности величины (сила тока), который передается на исполнительное устройство. От него крутящий момент нужной величины передается на вал рулевого колеса либо на рулевую рейку (в зависимости от того, какая конструкция используется в электроусилителе рулевого управления).

Из рис. 1 видно, что электронный блок управления электроусилителем руля представляет собой довольно сложное устройство, от которого зависит вся работа ЭУР. Стоит какому-нибудь датчику не дать сигнал и блок управления не сможет подать сигнал нужной полярности и величины к электродвигателю, и тот не работает.

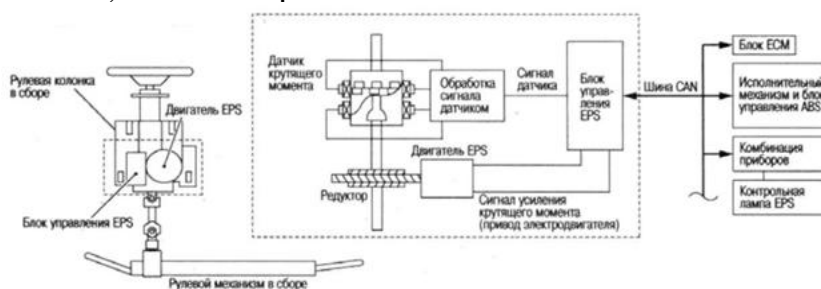


Рис. 1 Принципиальная схема рулевого управления

Кинематически привод (рис. 2) работает следующим образом: крутящий момент от двигателя через муфту подаётся на червяк, тот в свою очередь передаёт крутящий момент на червячное колесо, от которого через шпонку оно передаётся на тихоходный вал, на конце тихоходного вала имеется шестерня, которая находится в зацеплении с рулевой рейкой, на неё в итоге и поступает крутящий момент от тихоходного вала. В результате установки червячного редуктора мы увеличиваем крутящий момент от 8 до 63 раз, при этом число оборотов уменьшается. [1]

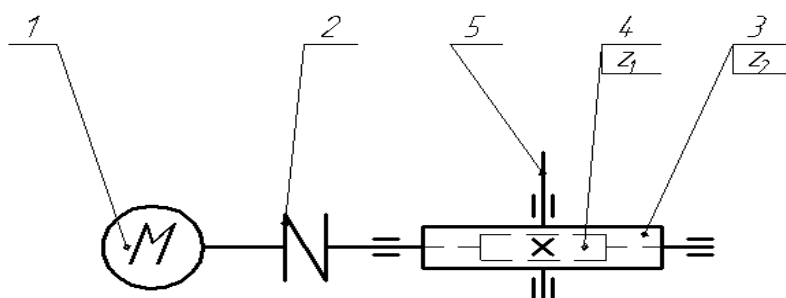


Рис. 2. Привод электроусилителя руля
1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – колесо; 4 – червяк; 5 – вал

Процесс установки: при монтаже ЭУР никаких серьезных операций по разборке автомобиля не потребуется. Весь процесс инсталляции устройства происходит в салоне. Он заключается в замене карданного вала в рулевой колонке и просверливании нескольких крепежных отверстий. После выполнения «механических операций» останется соединить кабель электропитания с индивидуальным предохранителем, а также провода датчика числа оборотов коленчатого вала двигателя и датчика скорости.

Изменение конструкции повлечёт появление дополнительного узла, который будет располагаться в салоне машины. Никаких серьезных изменений в рулевой системе не произойдет, так как весь рулевой механизм остается прежним. Поэтому никакой угрозы безопасности движения даже при неправильной установке нет. Электроусилитель в скором времени появится и в стандартной комплектации «Нивы». [2]

Список литературы:

- [1]. Бондаренко Е. В., Фаскиев Р. С. Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования; Академия - Москва, 2011. - 304 с.
- [2]. Вайсман, Я.; Горенков, В. Автомобиль Жигули; Транспорт; Издание 2-е, стер. - Москва, 2007. - 224 с.
- [3]. Электроусилитель руля [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Электроусилитель_руля (дата обращения: 31.11.15).

Левицкая Елена Васильевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: lena.brynza@yandex.ru

Алакин Виктор Михайлович – канд. техн. наук, зам. директора по инновациям КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alakin@bmstu-kaluga.ru

А.П. Белкина, А.И. Пономарев

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ДИСКОВОГО ФРИКЦИОННОГО ВАРИАТОРА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. Бесступенчатые трансмиссии, обеспечивающие плавное изменение крутящего момента на выходном элементе в зависимости от его частоты вращения, вызывают большой интерес в мировом автомобилестроении. Наряду с гидродинамическими, гидрообъемными, электрическими трансмиссиями, большое распространение получают механические бесступенчатые фрикционные передачи (вариаторы).

Вариаторы имеют огромный потенциал для развития, что сопровождается все более активным вытеснением ступенчатых и рассмотренных типов немеханических бесступенчатых передач на самом массовом их потребителе - автомобилях. Вариаторы также позволяют получить наиболее простую и экономичную схему гибридного привода.

Таким образом, проблема создания эффективной автоматической механической фрикционной бесступенчатой трансмиссии для автомобиля в качестве альтернативы, прежде всего, ступенчатым коробкам передач, безусловно, является актуальной.

Преимущества фрикционного вариатора. Фрикционные вариаторы имеют ряд преимуществ перед другими видами бесступенчатых передач.

Также как и гидродинамическим передачам (гидротрансформаторам), наиболее распространенным в настоящее время в автомобильной промышленности, фрикционным вариаторам может быть присуще свойство автоматического изменения передаточного отношения в зависимости от нагрузки на выходном валу, то есть они могут быть адаптивными. Но эти вариаторы имеют значительно более широкий диапазон передаточных отношений при высоком КПД, а также, в отличие от гидротрансформаторов, могут применяться в гибридных схемах трансмиссий с механическими накопителями, где требуется передача энергии как от накопителя к колесам, так и обратно, что в случае гидротрансформатором крайне затруднительно. Это делает фрикционные вариаторы еще более перспективными для дальнейшего развития.

В отличие от электрических передач, при создании систем, рассчитанных на передачу значительных крутящих моментов, фрикционные вариаторы, в частности многодисковые, имеют значительно меньшую массу и стоимость. Это обусловлено тем, что каждая электромашинка рассчитывается на определенный крутящий момент по своему максимальному магнитному полю. Повышение создаваемого (передаваемого) крутящего момента происхо-

дит за счет увеличения размеров электромашин, что ведет и к увеличению ее стоимости. В вариаторах отсутствует преобразование форм и видов энергии, что по сравнению с гидродинамическими, гидрообъемными и электрическими передачами является большим преимуществом.

Устройство и принцип работы адаптивного планетарного дискового вариатора и бесступенчатой автоматической коробки переключения передач на его основе. Устройство и принцип работы бесступенчатой автоматической коробки передач на основе адаптивного планетарного дискового вариатора ниже поясняются на основе принципиальной кинематической схемы, приведенной на рисунке 1.

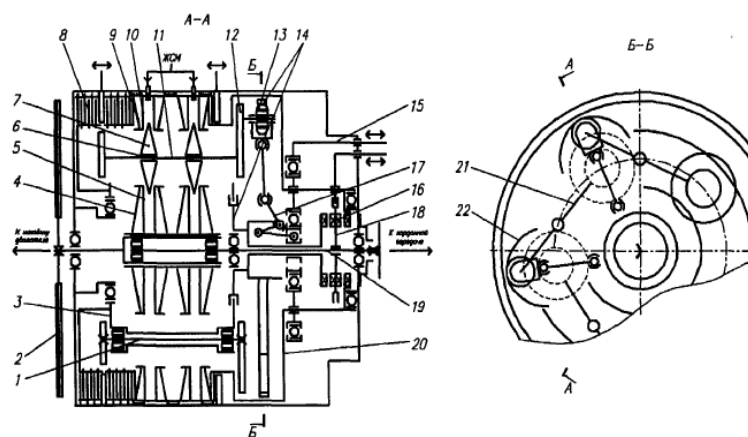


Рис 1 Схема автоматической бесступенчатой коробки передач автомобиля на основе нового планетарного дискового адаптивного вариатора: 1 — ось поворотных рычагов; 2 - соединительная муфта; 3 — водило; 4 — тарельчатая пружина; 5 — внутренний центральный фрикционный диск; 6 - подшипники сателлитов; 7 - сателлит; 8 — фрикционы; 9 — плоская дисковая пружина; 10 — внешний центральный фрикционный диск; 11 — ось сателлитов; 12 — противовес; 13 — ролик; 14 — кулачковый регулятор; 15 — шток; 16 — зубчатая полумуфта; 17 -рычажный механизм; 18 - каретка; 19 — выходной вал; 20 — эпицикл; 21 — поворотный рычаг; 22 — рабочая поверхность кулачкового регулятора; ЖСМ— жидкий смазочный материал [1]

Вариатор включает два (10 и 5) ряда центральных фрикционных дисков, между которыми с помощью тарельчатых (или плоских дисковых) пружин 4 и 9 зажаты сателлиты 7. Число сателлитов в одном ряду — шесть, хотя для мощных устройств с малым диапазоном варьирования их может быть и до 12. Подшипники 6 расположены на концах поворотных рычагов 21. Вторые концы этих рычагов использованы для размещения противовесов 12, одна группа которых снабжена роликами 13, входящими в контакт с рабочим профилем 22 кулачкового регулятора 14, связанного с выходным валом 19. Сами рычаги 21 посажены на оси 1, закрепленные в водиле 3. Ролики 13 от-

жимаются на периферию принудительно, через рычажный механизм 17, на который воздействует, через систему выжимных подшипников, шток 15, перемещаемый либо вручную, либо с помощью усилителей, имеющих упругую характеристику (например, пневмокамер, управляемых от пневмосистемы автомобиля). Это позволяет изменять степень адаптивности вариатора, чем, собственно, и ведется управление скоростью автомобиля.

Крутящий момент от маховика двигателя к первичному валу коробки передач передается через пакет круглых стальных пластин 2; функции сцепления выполняют фрикционы 8. При зажатии правого пакета данных фрикционов тормозится эпицикл 20, что в совокупности с перемещением влево каретки 18 с зубчатой полумуфтой 16, связанной телескопически с выходным валом 19, позволяет получить передачи переднего хода. Если зажимается левый пакет фрикционов, то тормозится водило 3, и эпицикл 20 вращается в сторону, противоположную вращению первичного вала. С выходным валом он соединяется перемещением каретки 18 вправо. В итоге автомобиль получает возможность двигаться задним ходом. Нейтрали же соответствует промежуточное или центральное положение каретки 18.

При изменении крутящего момента на выходном валу 19 ролик 13, находящийся до того в уравновешенном состоянии, под действием усилий пружин 4, 9 и штока 15, а также тангенциальных усилий рабочего момента и других усилий в механизме вариатора изменяет свое положение на рабочей поверхности кулачкового регулятора, меняя тем самым передаточное отношение. Нажимные пружины 4 и 9 при этом упруго деформируются за счет расклинивающего действия сателлитов, что при вращении фрикционных дисков связано с ничтожным сопротивлением трению, и, имея специально подобранные характеристики "сила—деформация", обеспечивают оптимальный по КПД нажим фрикционных дисков, с запасом $\beta = 1,25 \dots 1,5$. Рабочий профиль 22 можно выполнить и таким, когда он лишь уменьшает или полностью устраняет усилие перевода ролика 13 при изменении передаточного отношения.

Таким образом, свойство адаптивности действительно является "врожденным" свойством, присущим конструкции вариатора, и достигается лишь подбором формы рабочего профиля 22 и усилием на штоке 15.

Следует отметить также оптимизированный автоматический прижим фрикционных дисков, зависящий от передаточного отношения вариатора. Это позволяет учитывать изменяющийся коэффициент упруго гидродинамического трения во фрикционных контактах, тоже зависящий от передаточного отношения вариатора. Такой способ прижима фрикционных элементов, будучи наиболее простым из известных, позволяет оптимизировать вариатор по КПД применительно к современной автоматической системе управления скоростью автомобиля.

Стенд для проведения испытаний опытного образца вариатора.

Схема установки для проведения испытаний опытного образца вариатора представлена на рисунке 2. Мотор-вариатор 1 установлен на станине 17. На выходном валу вариатора зафиксирован тормозной барабан с кольцевой полостью для заливки охлаждающей воды, а также установлен прорезной диск 11 для фотоэлектрического датчика 9 электронного тахометра ТЭМП-4. Аналогичным диском 15 снабжен задний конец вала электродвигателя. С этим диском взаимодействует фотоэлектрический датчик 13. В крышке вариатора установлен термометр 5 (TGL-11.997). Тормозной барабан взаимодействует с колодками нагрузочного тормоза 3. Зажим колодок производится винтом 2. Конец нагрузочного тормоза имеет отверстие на расстоянии 500 мм от центра тормозного барабана, в которое входит крепежный элемент динамометра растяжения 7, подвешенного на опоре. Для контроля тока в обмотках электромотора предусмотрен амперметр 8.

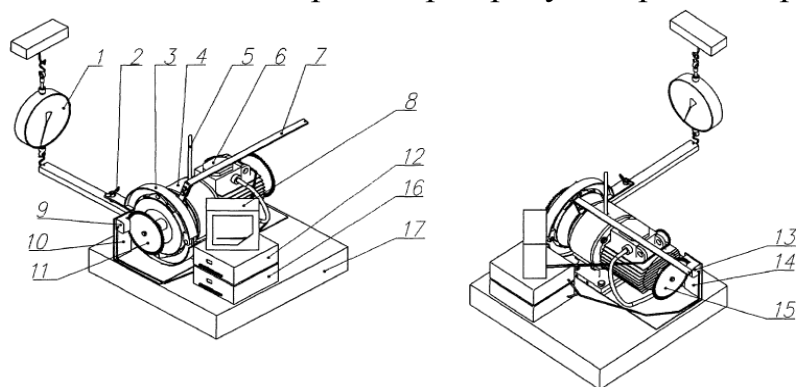


Рис. 2 Схема испытаний мотор-вариатора:

- 1 - динамометр растяжения; 2 - регулировочный винт; 3 - нагрузочный тормоз; 4 - вариатор; 5 — термометр; 6— асинхронный электродвигатель; 7 — рычаг регулятора адаптивности; 8 - амперметр;
9 и 13 — фотоэлектрические датчики; 10 и 14- кронштейны;
11 и 15 - диски светопрерывающие; 12 и 16—блоки индикации, тахометры;
17 — станина

Испытания опытного образца вариатора включали в себя следующие этапы [2,3]:

1) тарировочные испытания электродвигателей 80А4/1420 и 80W2/2850 для получения экспериментальных зависимостей крутящего момента на выходном валу электродвигателей от частоты вращения и тока;

2) испытания мотор-вариатора в адаптивном режиме при входной частоте вращения 1420 мин⁻¹ при смазке моторным маслом М-8;

3) то же при смазке трактантом Сантотрак-50;

4) то же по п. 2 при входной частоте вращения 2850 мин⁻¹;

5) то же по п. 3 при входной частоте вращения 2850 мин⁻¹;

б) испытания мотор-вариатора с фиксацией передаточного отношения дисками в 5 вариантах при смазке маслом М-8 и входной частоте вращения 1420 мин-1;

7) то же при смазке трактантом Сантотрак-50;

8) то же по п. 6 при входной частоте вращения 2850 мин-1;

9) то же по п. 7 при входной частоте вращения 2850 мин-1;

10) вся группа экспериментов по пункту 2-5 была заново проведена с переворотом кулачкового регулятора 13 на 180° и реверсом электродвигателя. Последнее необходимо для определения характеристик вариатора как при тангенциальных силах, образующих рабочий крутящий момент, направленный от оси сателлитов к центру поворотного рычага, так и обратно. При этом момент от тангенциальных сил, действующих на поворотный рычаг, меняет свое направление на обратное, что сказывается на законе изменения момента выхода T_2 от передаточного отношения i .

Список использованных источников:

[1]. Камаль Альскейф Динамика двухосной полноприводной колесной машины с вариаторами в раздаточной коробке // Известия ВУЗ'ов Машиностроение - 2007 - № 8 - С 44-48.

[2]. Камаль Альскейф, Фоминых А.Б. Математическая модель движения по ровной дороге двухосной полноприводной колесной машины с вариаторами в раздаточной коробке // Известия ВУЗ'ов Машиностроение - 2007. - № 7 - С 32-36.

[3]. Фоминых А.Б., Камаль Альскейф Дифференциальный механизм с переменным передаточным числом // Известия ВУЗ'ов Машиностроение - 2006 - № 12 - С 37-42.

Белкина Анна Павловна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: anna.belkina92@yandex.ru

Пономарев Алексей Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

Б.П. Садковский, М.В. Крылов

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЕ ВМЯТИН НА КУЗОВЕ АВТОМОБИЛЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Технология Painless Dent Repair (PDR) – это ремонт вмятин на кузове автомобиля без покраски, то есть с полным сохранением заводского лакокрасочного покрытия. Такое щадящее удаление повреждений становится возможным благодаря тому, что деталь приводится к первоначальному виду путем механического воздействия на нее с внутренней или внешней стороны.

Ремонт вмятин без покраски по технологии PDR применяется в сфере автомобильного сервиса уже довольно длительное время. Одним из основоположников технологии удаления вмятин без покраски был Оскар Флайг (Oskar Flaig), который работал на заводе Mercedes-Benz в качестве мастера кузовного цеха. В 1952 году им были открыты первые принципы высокоточной рихтовки, которые в дальнейшем удалось развить до полноценной технологии. Позднее было налажено производство специализированных инструментов для PDR-выравнивания, а также появились компании, которые осуществляли удаление повреждений с корпуса авто преимущественно этим методом. В начале 80-х технология PDR появилась во многих странах Европы [1].

В России технология PDR появилась в 1999 году. Её аналог применяется в американском штате Калифорния. Продвижение технологии проходило трудно, только по прошествии 5-ти лет начали появляться мастера, прошедшие подготовку в учебном центре компании «Антей» [2]. В настоящее время в Москве увеличилось количество мастерских проводящих ремонт по технологии PDR-выравнивания. В Калуге также имеются мастерские, где занимаются ремонтом кузова по технологии PDR-выравнивания.

В настоящее время в Калужской области применяется несколько способов восстановления: восстановление с помощью клея, термическое восстановление, механическое воздействие.

Восстановление с помощью клея [3]. Для этого используются специальные клипсы и различного размера пистоны, которые приклеиваются специализированным клеем к условному центру вмятины. Необходимо правильно и точно определить – куда приклеить «пистон». И это вовсе не геометрический центр вмятины. Здесь всё зависит от напряжений в металле, и способность определять правильное место приходит лишь с опытом. Да и сам характер выравнивания требует не малой сноровки. Ведь нельзя просто потянуть за «пистон» и вернуть первоначальное состояние поверх-

ности. Потребуется ряд действий ювелирного качества. В ином случае вытянутый металл по краям вмятины будет несколько выпирать, что отрицательно скажется на качестве. Металл необходимо «провести» по пути получения вмятины в обратном направлении. Лишь в этом случае следов не останется, потому часто, вроде бы простую вмятину, выпрямляют в несколько приёмов, а по завершению приклеенный «пистон» удаляют. Для этого применяется специальный растворитель, который воздействует только на клей, не воздействуя на краску. Этим же растворителем смываются следы клея.

Термическое восстановление (простой нагрев). Ещё один вариант ремонта PDR некоторых видов повреждений – это простой нагрев. Конечно, таким способом устранить можно далеко не все виды повреждений, как правило, это обычные вмятины с небольшой степенью деформации. После того, как специалист установил возможность выравнивания вмятины таким способом – повреждённое место просто нагревают промышленным феном. Металл, расширяясь от температуры и повышая свою пластичность, сам восстанавливает форму. Однако и здесь знания и опыт необходимы для успеха, иначе можно наоборот усугубить проблему. К примеру – если нагревать участок, который повреждён более серьёзно, то он подходит для восстановления термическим способом.

Восстановление прямым механическим воздействием. Этот метод применяется при деформировании рёбер жёсткости или изгибов элементов [3]. Обычно воздействие производится изнутри, иногда даже с частичной разборкой салона автомобиля. От первой технологии отличается использованием множества различных приспособлений, в виде крючков и клюшек. При этом может сочетаться и с клеевым методом. Специальным инструментом вмятину выдавливают изнутри в несколько приёмов. Повторяя путь металла при получении деформации, только в обратном направлении. Вмятины могут быть серьёзными, и при восстановлении формы по краям может оставаться след, то используется даже «перегибание» в обратную сторону, с последующим возвратом. Таким методом добиваются возврата металла по краям вмятины к исходному состоянию. Конечно, эта процедура более длительная и требует достаточного количества усилий от мастера. Но всё равно она быстрее классической технологии. Также, в некоторых случаях, используется вытягивание. Это характерно, когда повреждения получили силовые элементы со сложной формой. Вернуть их к первоначальному виду эффективно именно вытягиванием. Для инструмента используются специальные сплавы с высокой прочностью, так как необходимо применять значительные усилия.

Выводы. Таким образом, можно выделить основные преимущества и недостатки технологии PDR-выравнивания.

Основные преимущества технологии PDR – это:

- сохранение оксидной пленки на металлических деталях кузова, что предохраняет его от поражения коррозией, особенно в скрытых полостях;
- сохранение целостности заводского лакокрасочного покрытия, благодаря чему удастся сэкономить на процедуре покраски, а также в дальнейшем выставить автомобиль на продажу по более высокой цене;
- оперативное удаление вмятин: на выравнивание даже сложных повреждений уходит меньше времени, чем на покраску.
- Нецелесообразно прибегать к PDR-выравниванию, если кузов автомобиля или отдельные его элементы соответствуют одному из следующих пунктов:
 - очень сильно повреждены;
 - нарушена целостность заводского лакокрасочного покрытия, так что не обойтись без дальнейшей покраски;
 - имеющийся лакокрасочный слой недостаточно прочный и может не выдержать механического воздействия PDR-инструментов;
 - автомобиль произведен более 15 лет назад;
 - ранее уже производился ремонт с применением традиционной рихтовки, шпаклевки и покраски.

Список использованных источников:

[1] Технология устранения вмятин – PDR. Практические советы по проведению работ [Электронный ресурс]:

<http://krasimauto.com/kuzovnie-raboty/tehnologiya-ustraneniya-vmyatin-pdr.html>

(дата обращения 27.10.2015).

[2] Технология PDR: удаление вмятин на кузове автомобиля [Электронный ресурс]:

<http://x-kuzov.ru/kuzovnoj-remont/pdr-remont-vmjatin-bez-pokraski.html>. (дата обращения 27.10.2015).

[3] Виноградов В.М. Технологические процессы ремонта автомобилей. — М.: Академия, 2009. — 384 с.

Садковский Борис Петрович – д-р техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: apon2005@yandex.ru

Крылов Максим Викторович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maxkrylov2015@yandex

СЕКЦИЯ 8.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ

М.С. Дубинина, В.И. Кристя

АНАЛИТИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ИОНИЗАЦИИ СМЕСИ АРГОН-РТУТЬ В СЛАБОТОЧНОМ РАЗРЯДЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время одним из наиболее распространенных типов осветительных приборов являются дуговые лампы, в которых в качестве рабочей среды используется смесь аргона с парами ртути с зависящей от температуры T концентрацией ртути. После приложения достаточно большого напряжения U между электродами в лампе происходит пробой газовой смеси и возникает слаботочный разряд, который затем переходит в тлеющий разряд, а через некоторое время в дуговой [1]. Минимальное значение U называется напряжением зажигания разряда. Известно, что долговечность ламп в значительной степени зависит от потерь эмиссионного вещества с электродов, происходящих преимущественно на этапе зажигания разряда. Поэтому один из путей увеличения их долговечности состоит в снижении напряжения зажигания.

Напряжение зажигания разряда зависит от величины коэффициента ионизации смеси α , равного среднему числу ионизаций, производимых на единице длины разряда в расчете на один электрон, и зависящего от напряженности электрического поля и состава смеси. При этом при расчете значения α необходимо учитывать, что в смеси аргона с парами ртути, кроме прямой ионизации атомов газов электронами, происходит также ионизация атомов ртути метастабильными возбужденными атомами аргона (реакция Пеннинга) [1].

В работах [2, 3] рассчитаны зависимости коэффициента ионизации в смеси аргон-ртуть от напряженности электрического поля E в слаботочном разряде для ряда значений температуры смеси в интервале от 243 К до 403 К, а в [4] на их основе построены аналитические аппроксимации этих зависимостей вида:

$$\frac{\alpha}{N} = A \exp\left(-\frac{B}{E/N}\right) \quad (1)$$

где N - концентрация смеси, а A и B - параметры, величины которых зависят от T .

В данной работе с использованием найденных в [4] значений A и B методом наименьших квадратов найдены их следующие температурные зависимости:

$$A(T) = 0,0209T^3 - 0,1154T^2 - 0,0473T + 19,842, \quad (2)$$

$$B(T) = 0,6977T^3 - 2,1444T^2 - 44,075T + 387. \quad (3)$$

На рисунках 1, 2 точками указаны значения параметров A и B , найденные в [4], а линией – графики полученных зависимостей (2) и (3). Видно, что построенные зависимости достаточно хорошо описывают зависимость коэффициентов выражения (1) от температуры.

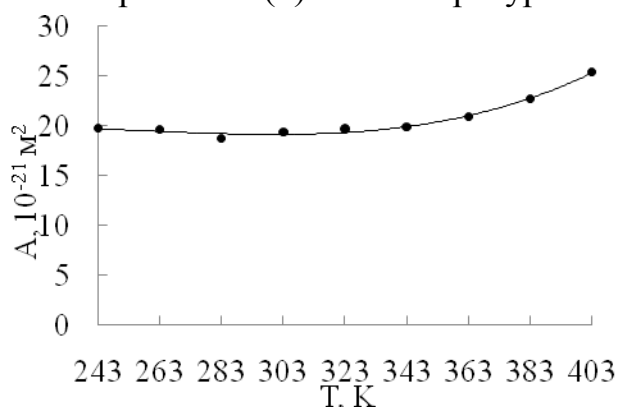


Рис. 1. Температурная зависимость параметра A из аппроксимации (1)

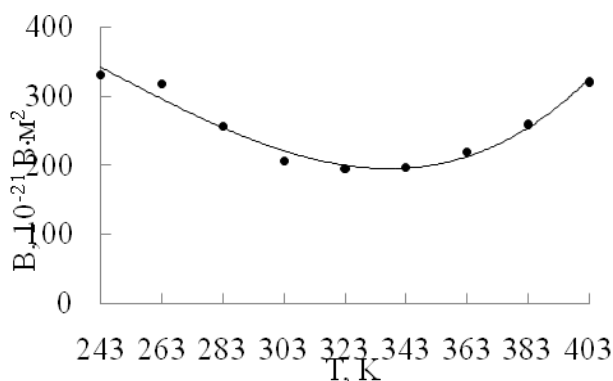


Рис. 2. Температурная зависимость параметра B из аппроксимации (1)

Следовательно, выражения (1) – (3) могут использоваться при моделировании слаботоочного разряда в смеси аргон-ртуть в диапазоне ее температуры от 243 К до 403 К.

Список литературы

- [1] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 592 с.
- [2] Кристя В.И, Фишер М.Р. // Известия РАН. Серия физическая. 2010. Т. 74. № 2. С. 298-301.
- [3] Кристя В.И, Фишер М.Р. // Известия РАН. Серия физическая, 2012, т.76, № 5, С. 673-677.
- [4] Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Дубинина М.С., Кристя В.И., Фишер М.Р. // Труды XXV Международной конференции «Радиационная физика твердого тела» – Севастополь: НИИ ПМТ, 2015, Т. 2, С. 60-65.

Дубинина Мария Сергеевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: m.s.dubinina95@gmail.com

Кристя Владимир Иванович - д-р физ.-мат. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kristya@bmstu-kaluga.ru

Е.В. Лисовский

ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С НЕОГРАНИЧЕННЫМ ОПЕРАТОРОМ В ГИЛЬБЕРТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

Устойчивость решений линейных дифференциальных уравнений с ограниченным оператором изучена в работах [1,2]. В фундаментальной монографии [3] представлены систематизированные результаты по обобщенному прямому методу А.М. Ляпунова исследования устойчивоподобных систем с распределенными параметрами, являющемуся обобщением, унификацией и развитием классического прямого метода.

В настоящей работе с помощью метода функционалов Ляпунова проведен анализ устойчивости и асимптотических свойств линейных дифференциальных уравнений с неограниченным оператором в гильбертовом пространстве.

Рассмотрим дифференциальное операторное уравнение в гильбертовом пространстве H

$$\frac{dx}{dt} = Ax, \quad x \in \text{Dom}A \subset H \quad (1)$$

Определение 1. Определяющим билинейным функционалом $W : H \times H \rightarrow R$ в гильбертовом пространстве H называется любое скалярное произведение, эквивалентное [1] скалярному произведению $\langle \cdot, \cdot \rangle$ в H .

Теорема 1. Для того чтобы функционал $W : H \times H \rightarrow R$ был определяющим билинейным функционалом, необходимо и достаточно, чтобы существовал положительно определенный симметрический ограниченный оператор $P \in L(H, H)$ такой, что

$$W(x, y) = \langle x, Py \rangle = \langle Px, y \rangle \quad (2)$$

Доказательство этой теоремы следует из определения 1 и утверждения [2]: скалярные произведения $\langle \cdot, \cdot \rangle_i$ в гильбертовом пространстве H_i ($i = 1, 2$) эквивалентны тогда и только тогда, когда существует положительно определенный симметрический ограниченный оператор $P \in L(H, H_1)$ такой, что

$$\langle x, y \rangle_2 = \langle x, Py \rangle_1 = \langle Px, y \rangle_1, \quad \forall x, y \in H_1 \quad (3)$$

Определение 2. Квадратичным функционалом Ляпунова называется функционал $V(x) = W(x, x)$, $x \in H$.

Определим орбитальную производную $\dot{V}(x)$ функционала $V(x)$ следующим соотношением

$$\dot{V}(x) = \lim_{t \rightarrow 0} t^{-1} (V(\varphi(t, x)) - V(x)) \quad (4)$$

для всех $x \in H$ таких, для которых предел (4) существует. Здесь $\varphi(t, x)$ – решение уравнения (1) такое, что $\varphi(0, x) = x$.

Теорема 2. Пусть A – генератор полудинамической системы (D^+ -системы) (или динамической системы (D -системы)). Тогда орбитальная производная $\dot{V}(x)$ определена на всей области $Dom A$ соотношением

$$\dot{V}(x) = 2 \cdot \langle Ax, x \rangle, \quad x \in Dom A. \quad (5)$$

Кроме того,

$$\dot{V}(x) = 2 \cdot \langle Ax, x \rangle_1 = 2 \cdot \langle PAx, x \rangle, \quad x \in Dom A, \quad (6)$$

где $\langle \cdot, \cdot \rangle_1$ – скалярное произведение, эквивалентное $\langle \cdot, \cdot \rangle$, $P \in L(H, H)$ – положительно определенный симметрический ограниченный оператор.

Доказательство (6) следует из определения 2, а (5) – из определения 2 и того, что $W(y, y) - W(x, x) = W(y + x, y - x)$.

Рассмотрим дифференциальное уравнение с частными производными вида

$$u_t(t, y) = L(t, y), \quad t \in \mathbb{R}^+, \quad (7)$$

где L – строго эллиптический оператор четного порядка $2p$ на открытом подмножестве $G \subset \mathbb{R}^n$.

Пусть:

D – открытое подмножество в G , а M – граница D ;

$u(t, y)$ удовлетворяет условию Дирихле порядка p

$$(\partial_x(M))^i u(t, y) = 0, \quad 0 \leq i \leq p-1, \quad (t, y) \in \mathbb{R}^+ \times M; \quad (8)$$

B – оператор в H , определенный соотношением

$$DomB = \left\{ f \in C^\infty(D) : (\partial_n(M))^i f(y) = 0, 0 \leq i \leq p-1, y \in M \right\}, Bf = Lf, f \in DomB,$$

где $(\partial_n(M))^i$ – производная i -го порядка по направлению нормали n к границе M ;

C – оператор, график которого является замыканием графика оператора B ;

$$A := -C.$$

Тогда A определяет операторное уравнение (1), для которого

$$DomA = H_0^p(D) \cap H^{2p}(D).$$

Если L обладает свойством

$$\langle Lf, f \rangle \geq c \langle f, f \rangle, f \in C_0^\infty(D) \Rightarrow \langle Cf, f \rangle \geq c \langle f, f \rangle, f \in DomC, \lambda \in \rho(C), \quad (9)$$

где $\lambda = \sigma(C)$ – спектр оператора C и он есть счетное дискретное множество в комплексной области, не имеющее точек сгущения, $\rho(C)$ – резольвентное множество оператора C , то оператор A строго диссипативен, т.е.

$$\exists c : \langle Ax, x \rangle \leq -c \langle x, x \rangle, \forall x \in DomA.$$

Так как из (9) следует, что $\operatorname{Re} \lambda > c \Rightarrow \lambda \in \rho(A)$, то оператор A порождает D^+ -систему $\{T(t) : t \in R^+\}$ и, следовательно, решение $x=0$ уравнения (1) (или $u=0$ уравнения (7)) является на основании теоремы 2 экспоненциально асимптотически устойчивым. Если оператор A имеет обратный оператор, то $x=0$ (или $u=0$) есть единственное состояние равновесия уравнения (1) (уравнения (7)).

Список литературы

[1]. Крейн М.Г. Лекции по теории устойчивости дифференциальных уравнений в банаховом пространстве. Киев, 1964, 408 с.

[2]. Крейн С.Г. Линейные дифференциальные уравнения в банаховом пространстве. М.: Наука, 1967, 464 с.

[3]. Шестаков А.А. Обобщенный прямой метод Ляпунова для систем с распределенными параметрами, М.: УРСС, 2007, 386 с.

Лисовский Евгений Васильевич – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: levgenijv@gmail.com

Ю.В. Обрубков, Н.Д. Влайков, А.А.Соломатин

ДЕСЯТЬ ПАР АСТЕРОИДОВ ГРУППЫ АПОЛЛОНА С БЛИЗКИМИ ОРБИТАМИ

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

В последнее время все чаще встречается термин «астероидная опасность». Группа астероидов Аполлона, это одна из трех групп околоземных астероидов, орбиты которых пересекают или могут пересекать орбиту Земли. На данный момент открыто более 13000 околоземных астероидов, среди которых 1612 представляют потенциальную опасность для нашей планеты. Наибольшую опасность представляют астероиды группы Аполлона. Изучение эволюции орбит и возможных взаимосвязей астероидов группы Аполлона является важной задачей обеспечения безопасности жизни на Земле.

Положение астероида в пространстве на момент времени T может быть задано оскулирующими кеплеровскими элементами эллиптической орбиты: большой полуосью a , (или перигелийным расстоянием $q = a(1 - e)$) эксцентриситетом e , наклоном орбиты к плоскости эклиптики i , аргументом перигелия ω , долготой восходящего узла Ω и, например, средней аномалией M . Угловые элементы i , ω , Ω - определяют положение плоскости орбиты небесного тела в гелиоцентрической системе координат, большая полуось – размеры эллипса, а эксцентриситет его форму или степень сжатости. Аномалия определяет положение тела на орбите в момент времени T .

Численной мерой близости орбит в пятимерном пространстве элементов орбит e , q , i , Ω , ω может являться, например, значение D_{SH} -критерия Саутворта и Хокинса [1]. Значение этого критерия вычисляется по формуле:

$$D_{SH}^2 = (\Delta e)^2 + (\Delta q)^2 + 4 \sin^2 \frac{\Delta i}{2} + 4 \sin i_1 \sin i_2 \sin^2 \frac{\Delta \Omega}{2} + (e_1 + e_2)^2 \sin^2 \frac{\Delta \pi}{2},$$

где $\Delta e = e_1 - e_2$, $\Delta i = i_1 - i_2$, $\Delta q = q_1 - q_2$, $\Delta \Omega = \Omega_1 - \Omega_2$, $\Delta \pi = \pi_1 - \pi_2$, $\pi = \omega + \Omega$, а $e_1, e_2, i_1, i_2, q_1, q_2, \Omega_1, \Omega_2, \pi_1, \pi_2$ – эксцентриситеты, наклоны, перигелийные расстояния, долготы восходящих узлов и долготы перигелиев двух сравниваемых орбит соответственно. Отметим, что неявно этот критерий использует условие пересечения орбит исследуемых объектов с орбитой Земли, в одном из узлов.

С целью изучения закономерностей распределения множества орбит астероидов группы Аполлона, был вычислен D_{SH} -критерий для каждой из

почти 50 000 000 пар астероидов. Исходные значения элементов орбит были взяты из каталога Национального космического агентства США - NASA [2], в котором на 24.05.2015 насчитывалось 7010 объектов группы Аполлона.

Наши вычисления показали, значение D_{SH} -критерия для изучаемых пар меняется в пределах $0,0106 \leq D_{SH} \leq 2,6555$. Наибольшее значение было получено для пары: 337558 (2001 SG262) и (2008 FK). Среди изучаемых объектов имеются пары астероидов для которых текущее значение D_{SH} -критерия мало, что может говорить об их связи. В таблице 1 приведены 10 пар астероидов (названия, элементы орбит) с наименьшими значениями D_{SH} -критерия.

Таблица 1. Пары астероидов с наименьшим значением D_{SH} -критерия.

№ пары	Объект	a а.е.	e	i град.	ω град.	Ω град.	D_{SH}
1	(2009 FR)	2,091	0,5198	1,513	337,1316	183,686	0,0106
	(2011 FQ16)	2,124	0,5292	1,428	334,5488	186,541 9	
2	(2006 HU50)	1,287	0,2468	5,9042	214,344	46,9323	0,0149
	(2014 HL129)	1,278	0,2463	5,3608	220,386	41,4788	
3	(2008 RU)	2,106	0,6474	7,1904	274,621	140,1	0,0161
	(2014 Q362)	2,130	0,6535	7,2697	272,28	143,512	
4	(2007 TS24)	2,811	0,6548	5,4140	32,349	22,3301	0,0162
	(2012 UF34)	2,826	0,6598	4,7245	29,8692	24,7736	
5	(428209)	1,941	0,4919	12,2562	19,1789	87,5992	0,0162
	(2009 XO2)	1,935	0,4875	12,62	15,5113	91,1503	
6	(2003 DW10)	1,446	0,3607	2,1949	221,047	342,186	0,0164
	(2008 CC71)	1,454	0,3691	1,8760	222,294	339,234	
7	(2008 VZ3)	1,851	0,5246	3,5264	237,618	228,826	0,0173
	(2009 VC1)	1,818	0,5151	4,1597	233,641	231,845	
8	(2007 EK)	1,126	0,2722	1,2066	83,3396	168,56	0,0177
	(2013 QP48)	1,156	0,2849	1,5060	101,996	150,698	
9	(2009 XK8)	2,475	0,6136	2,7647	300,869	106,874	0,0187
	(2013 YO2)	2,450	0,6118	3,0867	313,456	95,5715	
10	(2012 EZ1)	2,006	0,5960	0,5022	308,217	153,59	0,0196
	(2013 EB)	1,981	0,5889	1,2729	305,872	154,804	

Как показывает таблица 1 элементы орбит астероидов, образующих выявленные пары, имеют очень близкие значения. Значит, и изменения элементов во времени, то есть эволюция орбит под действием планетных

возмущений, будет происходить примерно одинаково. Этот факт позволяет предположить возможность связи этих объектов или их происхождение в результате дробления общего родительского тела. Для проверки этой гипотезы необходимо сравнить эволюцию орбит астероидов выявленных пар на различных интервалах времени и определить возможные моменты дробления.

В ходе проведенных исследований всего было найдено: 502 пары со значениями - $D_{SH} < 0.05$, 9522 пары с $0,05 < D_{SH} < 0,10$ и 158192 пар для которых значения критерия находятся в пределах $0,1 < D_{SH} < 0,2$.

Результаты проведенных вычислений предполагается использовать в дальнейшем для проведения кластерного анализа группы Аполлона, где в качестве критерия можно использовать значения D_{SH} , вычисленные для каждой пары астероидов

Список литературы.

[1]. Southworth R.B. & Hawkins G.S. Statistics of meteor streams // Smith. Contrib. Astrophys., 1963, Vol. 7, P. 261-285

[2]. APO orbital elements URL: // http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo_elem (дата обращения 24.05.2015)

Обрубов Юрий Викторович - д-р физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kristya@bmstu-kaluga.ru

Влайков Николай Дмитриевич – канд. техн. наук, старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nick-vlaikov@yandex.ru

Соломатин Андрей Андреевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Deadrayder@gmail.com

М.И. Супельняк

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННО НЕРАВНОМЕРНЫХ ПАРАМЕТРАХ ТЕПЛООБМЕНА

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

При высокой частоте циклического процесса теплообмена тепловые волны затухают в тонком поверхностном слое твердого тела. Для исследования колебаний температуры и термоциклических напряжений в [1] было предложено использовать одномерное приближение термического слоя. При этом в качестве граничного условия на поверхности расчетной области должны были использоваться локальные параметры теплообмена на поверхности тела. В общем случае они могут существенно изменяться вдоль поверхности. В качестве примера можно привести неоднородное поле коэффициента теплоотдачи на поверхности рабочей лопатки турбины [2]. Таким образом, представляется необходимым проведение дальнейшего анализа допустимых границ применения разработанных одномерных расчетных схем. Для него целесообразно выбрать модельную задачу, позволяющую использовать аналитические методы интегрирования уравнений математической физики.

В качестве модельной задачи было рассмотрено определение установившегося поля температуры полупространства при коэффициенте теплоотдачи и температуре жидкости, циклически изменяющихся как во времени, так и вдоль поверхности. Математическая постановка указанной задачи теплопроводности без начальных условий имеет вид

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial t} &= a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad x > 0, \quad 0 < y < l, \quad t > -\infty, \\ \lambda \frac{\partial T(0, y, t)}{\partial x} &= \alpha(y, t) [T(0, y, t) - T_{\text{ж}}(y, t)], \quad 0 < y < l, \quad t > -\infty, \\ \lim_{x \rightarrow \infty} T(x, y, t) &\neq \infty, \quad 0 < y < l, \quad t > -\infty, \\ T(x, 0, t) &= T(x, l, t), \quad x > 0, \quad t > -\infty, \\ \frac{\partial T(x, 0, t)}{\partial y} &= \frac{\partial T(x, l, t)}{\partial y}, \quad x > 0, \quad t > -\infty,\end{aligned}$$

где $T = T(x, y, t)$ – температура полупространства, К; (x, y) – координаты точки тела, м; t – время, с; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\alpha = \alpha(y, t) > 0$

– коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $T_{\text{ж}} = T_{\text{ж}}(y, t)$ – температура жидкой среды, К. При этом коэффициент теплоотдачи и температура жидкости являются периодическими функциями:

$$\begin{aligned}\alpha(y+l, t) &= \alpha(y, t + \tau) = \alpha(y, t), \\ T_{\text{ж}}(y+l, t) &= T_{\text{ж}}(y, t + \tau) = T_{\text{ж}}(y, t),\end{aligned}$$

где l – пространственный период, м; τ – временной период циклического процесса теплообмена, с.

С помощью классического метода разделения переменных [3, 4] было найдено аналитическое решение указанной двумерной нестационарной краевой задачи. Для нахождения постоянных коэффициентов решения была получена бесконечная система линейных алгебраических уравнений с бесчисленным множеством неизвестных.

Список литературы

[1]. Супельняк М.И. Исследование циклических процессов теплопроводности и термоупругости в термическом слое твердого тела сложной формы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Супельняк Максим Игоревич. – Москва, 2015. – 20 с.

[2]. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок / В.Л. Иванов, А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, М.И. Осипов; под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 592 с.

[3]. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. – М.: Высшая школа, 2001. – 550 с.

[4]. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. – 798 с.

Супельняк Максим Игоревич - ассистент кафедры КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: max2901@mail.ru

Ю.В. Обрубков, Н.Д. Влайков, А.А. Каретин

КЛАСТЕР АСТЕРОИДА (3200) ФАЗТОН

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

Астероид (3200) Фазтон один из астероидов группы Аполлона. Его особенностью является сильно вытянутая орбита, в процессе движения по которой он очень близко подходит к Солнцу и пересекает орбиты планет Меркурия, Венеры, Земли и Марса. Есть предположение, что Фазтон является угасшей кометой, образовавшей метеорный поток Геминид. В XXI веке ожидается несколько тесных сближений этого астероида с Землёй, самое тесное из которых произойдет в 2093 году, когда ожидаемое расстояние между Землёй и Фазтоном составит всего лишь 3 млн км. Поэтому астероид относят к классу (РНА) потенциально опасных астероидов. Поиск астероидов, связанных с Фазтоном, является важной задачей, вносящей вклад в научное представление о происхождении астероидов и их взаимосвязи с кометами.

Существует несколько критериев близости орбит. Это C_1 , C_2 - постоянные Лидова [1,2], T - критерий Тиссерана [3], D_{sh} - критерий Саутворта-Хокинса [4] и его модификации. В данном варианте начального поиска астероидов, возможно связанных с Фазтоном, мы рассмотрели распределение объектов группы Аполлона на плоскости постоянных Лидова (C_1 , C_2). Для более чем 7000 членов группы Аполлона по формулам (1, 2) были вычислены значения C_1 , C_2 ,

$$C_1 = (1 - e^2) \cos^2 i \quad (1)$$

$$C_2 = e^2 (0,4 - \sin^2 i \sin^2 \omega) \quad (2)$$

В этих формулах e – эксцентриситет, i – угол наклона, ω – аргумент перигелия орбиты астероида.

Элементы орбит астероидов были взяты из каталога (National Aeronautic and Space Administration, NASA) НАСА по состоянию на 25 мая 2015 г. [5]. На эту дату группа насчитывала 7010 объектов. На Рис. 1 представлено распределение астероидов группы Аполлона на плоскости постоянных Лидова (C_1 , C_2).

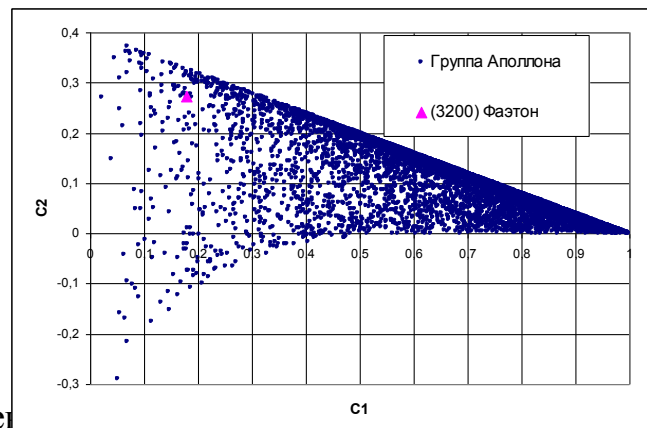


Рис. 1 Распределение астероидов группы Аполлона на плоскости постоянных Лидова (C_1 , C_2).

На Рис. 1 заметно, что объекты на плоскости распределены неравномерно. (3200) Фэтон, как видно из данного рисунка, находится в разреженной области. Несложно выделить скопления объектов - кластеры, в один из которых попадает и Фэтон. Выделенный нами кластер Фэтона имеет границы: $1,55 \leq C_1 \leq 0,19$, $0,26 \leq C_2 \leq 0,29$. Кластер представлен на Рис.2.

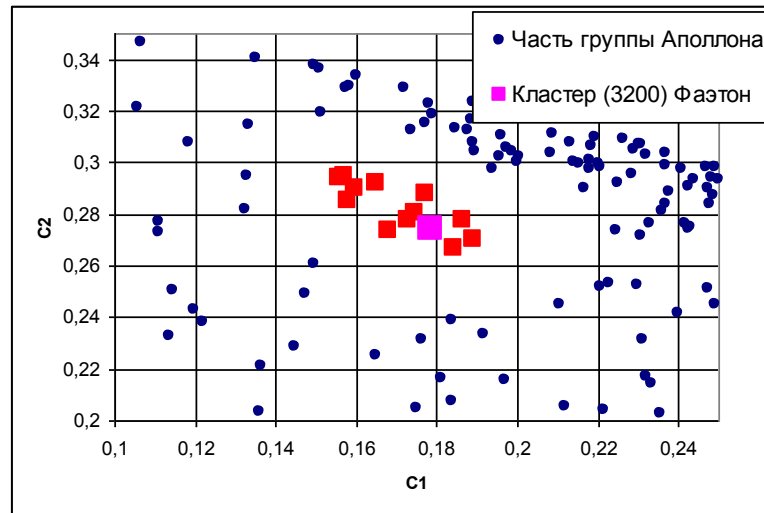


Рис. 2. Кластер астероида (3200) Фэтон.

Рис.2 показывает, что значения постоянных Лидова для выделенных в кластер астероидов близки. Как было показано в работе [6] значения C_1 , C_2 наименее всего подвержены изменениям в результате влияния планетных возмущений. Этот факт позволяет выделить астероиды кластера из всего множества группы Аполлона для дальнейшего поиска возможной генетической связи.

Выделенный кластер, включая (3200) Фэтон, состоит из 13 астероидов. Их названия (и/или обозначения) и элементы орбит приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Астероиды кластера (3200) Фэтон

№	Название	a (а.е.)	e	i (град.)	ω (град.)	Ω (град.)	C_1	C_2	D_{sh}
1	3200 Phaethon	1,271	0,890	22,240	322,14 4	265,26 5	0,178	0,274	-
2	155140 (2005 UD)	1,275	0,872	28,678	207,57 3	19,745	0,184	0,267	0,726
3	(2004 QX2)	1,287	0,903	19,095	218,59 6	320,38 4	0,165	0,292	0,806
4	164201 (2004 EC)	1,998	0,860	34,593	10,289	28,849	0,177	0,288	1,944
5	(2003 YN136)	2,322	0,894	16,011	304,20 2	306,68 1	0,186	0,278	0,455

6	190119 (2004 VA64)	2,465	0,890	29,929	19,920	225,54 1	0,156	0,294	0,447
7	(2000 SG8)	2,467	0,901	24,142	151,99 9	338,19 2	0,157	0,295	1,427
8	329774 (2004 LE)	2,644	0,837	40,459	185,20 6	211,52 7	0,173	0,278	1,829
9	365246 (2009 NE)	2,672	0,865	35,188	198,79 5	230,45 0	0,168	0,274	1,774
10	428223 (2006 WW)	2,681	0,868	32,745	197,89 2	88,243	0,175	0,280	1,281
11	(2006 OS9)	2,741	0,904	21,109	36,178	127,31 3	0,159	0,290	1,18
12	2014 XX31)	2,819	0,872	35,778	344,42 5	290,90 1	0,158	0,285	0,812
13	(2004 BZ74)	3,052	0,891	16,615	121,48 0	233,67 3	0,189	0,270	1,623

В Таблице 1 так же приведены значения критерия D_{sh} - Саутворта-Хокинса, вычисленные относительно орбиты астероида (3200) Фазтон по формуле (3).

$$D_{sh}^2 = (\Delta e)^2 + (\Delta q)^2 + 4 \sin^2 \frac{\Delta i}{2} + 4 \sin i_1 \sin i_2 \sin^2 \frac{\Delta \Omega}{2} + (e_1 + e_2)^2 \sin^2 \frac{\Delta \pi}{2}, \quad (3)$$

где $\Delta e = e_1 - e_2$, $\Delta i = i_1 - i_2$, $\Delta q = q_1 - q_2$, $\Delta \Omega = \Omega_1 - \Omega_2$, $\Delta \pi = \pi_1 - \pi_2$,

а $e_1, e_2, i_1, i_2, q_1, q_2, \Omega_1, \Omega_2, \pi_1, \pi_2$ – эксцентриситеты, наклоны, перигелийные расстояния, долготы восходящих узлов и долготы перигелиев двух сравниваемых орбит соответственно.

Полученные значения D_{sh} - критерия относительно велики. Таким образом, данные объекты не могли быть включены в кластер по значению критерия D_{sh} . Однако, значения этого критерия подвержены сильным изменениям в ходе эволюции орбит. Поэтому, в этом случае целесообразно использовать приведенный критерий Саутворта и Хокинса - $D_{\omega=0}$ [7], то есть сравнивать орбиты находящиеся в одном и том же эволюционном состоянии. Это состояние определяется значением аргумента перигелия и поэтому нужно сравнивать орбиты в момент равенства их аргументов перигелия. Элементы орбит на момент равенства аргументов перигелия можно определить, вычислив их изменения под действием планетных возмущений

Дальнейшее исследование отобранных астероидов необходимо проводить на основе вычислений эволюции элементов их орбит под действием планетных возмущений. Планетные возмущения наиболее сильно зависят

от большой полуоси их орбиты, которая определяет расстояния астероидов от возмущающих планет. По этому наибольший интерес могут представлять астероиды, стоящие на 2-ом, 3-ем и 4-ом местах Таблицы 1, так как разность в значениях больших полуосей их орбит с астероидом (3200) Фазтон у них наименьшая.

Список литературы.

[1]. Лидов М.Л. Эволюция орбит искусственных спутников планет под действием гравитационных возмущений // Искусственные спутники земли. 1961. Вып. 8. С.5-45

[2]. Лидов М.Л., Ярская М.В. Интегрируемые случаи в задаче об эволюции орбиты спутника при совместном влиянии внешнего тела и нецентральности поля планеты // Косм. иссл. 1974. Т.12. №2. С. 155-17

[3]. Kozai H. Short-period comets and Apollo-Amor-Aten type asteroids in view of Tisserand invariant // Celestial Mech. And Dynam. Astron. 1992. Vol. 54. P.237-240

[4]. Southworth R.B. & Hawkins G.S. Statistics of meteor streams // Smith. Contrib. Astrophys., 1963, Vol. 7, P. 261-285

[5]. APO orbital elements URL: // http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo_elem (дата обращения 24.05.2015)

[6]. Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д. Влияние планетных возмущений на критерии близости орбит околоземных объектов // V Бредихинские чтения: материалы Международной конференции. – 12-16 мая 2014. Заволжск, Россия. URL: // <http://agora.guru.ru/display.php?conf=bredikhin2014>. – С. 27

[7]. Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д. Выбор астероидов, родственных Апофису, по приведенному критерию Саутворта – Хокинса // Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы региональной НТК, 21-23 апреля 2015 г. Т. 2.- Калуга, изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. - С. 56-60.

Обрубов Юрий Викторович - д-р физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kristya@bmstu-kaluga.ru

Влайков Николай Дмитриевич – канд. техн. наук, старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nick-vlaikov@yandex.ru

Каретин Алексей Алексеевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: karetin_aleksei@mail.ru

В.Ю. Захаров, Т.Г. Чернова

ЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ В ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЕ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной работе рассматриваются малые возмущения однородного состояния горячей плазмы в рамках следующей одножидкостной системы магнитогидродинамических уравнений [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho_0 \nabla \cdot \bar{U} &= 0, \\ \rho_0 \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} &= -\nabla p + \frac{1}{4\pi} (\nabla \times \bar{b}) \times \bar{B}_0, \\ \frac{\partial \bar{b}}{\partial t} &= \nabla \times \left\{ \left(\bar{U} - \frac{c \cdot \nabla \times \bar{b}}{4\pi n_0 e} \right) \times \bar{B}_0 \right\}, \\ \frac{\partial p}{\partial t} &= c_s^2 \frac{\partial \rho}{\partial t}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ρ , p , \bar{U} , \bar{b} - малые отклонения плотности, давления, скорости плазмы и магнитного поля от однородных значений, $c_s = \left(\frac{\gamma p_0}{\rho_0} \right)^{1/2}$ - скорость звука, однородное магнитное поле \bar{B}_0 направлено вдоль оси z , n_0 - числовая плотность плазмы, e - заряд электрона.

В рамках системы (1) в [1] рассматривались малые возмущения параметров однородного состояния плазмы, и было получено дисперсионное уравнение шестой степени для фазовой скорости волн малой амплитуды:

$$\begin{aligned} &\left[\left(\frac{\omega}{k} \right)^4 - \left(\frac{\omega}{k} \right)^2 (c_s^2 + V_A^2) + c_s^2 \cdot V_A^2 \cdot \cos^2 \theta \right] \cdot \left[\left(\frac{\omega}{k} \right)^2 - V_A^2 \cdot \cos^2 \theta \right] - \\ &- \left(\frac{\omega V_A^2}{\Omega_i} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\omega}{k} \right)^2 - c_s^2 \right] \cos^2 \theta = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $\frac{\omega}{k}$ - фазовая скорость волны, $V_A = B_0 / \sqrt{4\pi \rho_0}$ - альфвеновская скорость, θ - угол между волновым вектором \bar{k} и невозмущенным магнит-

ным полем \bar{B}_0 , $\Omega_i = \frac{eB_0}{m_i c}$ - циклотронная частота ионов. Эффект Холла заключается в учете слагаемого с Ω_i в уравнении (2). При $\Omega_i = \infty$ эффект Холла не учитывается. Уравнение (2) является частным случаем дисперсионного уравнения из [2], когда ленгмюровская частота электронов стремится к бесконечности.

В [1] уравнение (2) преобразовано к безразмерному виду:

$$V^6 - (1 + \beta + \cos^2 \theta)V^4 + (1 + 2\beta - \omega^{*2})\cos^2 \theta \cdot V^2 + \beta(\omega^{*2} - \cos^2 \theta)\cos^2 \theta = 0 \quad (3)$$

$$V = \frac{\omega/k}{V_A}, \quad \omega^* = \frac{\omega}{\Omega_i}, \quad \beta = \frac{c_S^2}{V_A^2}.$$

При β больше или порядка 1 плазма считается горячей. Примером такой плазмы, согласно [3], является плазма магнитосферы Земли.

В [1] численно анализировалось уравнение (3) при некоторых фиксированных значениях параметров ω^* , β , θ . Устойчивость однородного состояния относительно малых возмущений гарантируется наличием шести действительных корней уравнения (3).

Получим аналитические условия, при которых уравнение (3) имеет шесть действительных корней при любом значении θ .

В частном случае $\cos^2 \theta = 1$ ($\theta = 0, \pi$, волна распространяется вдоль \bar{B}_0) уравнение (3) сводится к виду

$$V^6 - (2 + \beta)V^4 + (1 + 2\beta - \omega^{*2})V^2 + \beta(\omega^{*2} - 1) = 0. \quad (4)$$

Разлагая (4) на множители

$$(V^2 - \beta)(V^2 - 1 + \omega^{*2})(V^2 - 1 - \omega^{*2}) = 0$$

получим, что уравнение (4) имеет шесть действительных симметричных корней

$$V_{1\pm} = \pm\sqrt{\beta}, \quad V_{2\pm} = \pm\sqrt{1 - \omega^{*2}}, \quad V_{3\pm} = \pm\sqrt{1 + \omega^{*2}}$$

ТОЛЬКО ЕСЛИ

$$\omega^{*2} \leq 1. \quad (5)$$

Нарушение неравенства (5) приведет к тому, что корни $V_{2\pm}$ становятся комплексными, и однородное состояние станет неустойчивым. Таким образом, высокочастотные волны ($\omega^* > \Omega_i$) становятся неустойчивыми даже при продольном распространении.

В другом частном случае $\cos^2 \theta = 0$ ($\theta = \pi/2$, волна распространяется перпендикулярно \bar{B}_0) уравнение (3) всегда имеет шесть действительных корней ($V_{1,2,3,4} = 0$, $V_{5,6} = \pm\sqrt{1+\beta}$).

Рассмотрим случай $\cos^2 \theta \neq 0$, при этом будем считать верным ограничение (5). Сделаем в уравнении (3) замену $V = z \cdot \cos \theta$, $\omega^* = \omega_1^* \cos \theta$. Очевидно, что неравенство (5) будет выполняться при всех θ , если $|\omega_1^*| \leq 1$.

Тогда уравнение (3) после деления на $\cos^4 \theta$ перепишется в виде

$$f(z) - tg^2 \theta \cdot g(z) = 0, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} f(z) &= (z^2 - \beta)(z^2 - 1 + \omega_1^*)(z^2 - 1 + \omega_1^{*2}), \\ g(z) &= (1 + \beta)z^4 - (1 + 2\beta)z^2 + \beta(1 - \omega_1^{*2}). \end{aligned}$$

Так как функции $f(z)$ и $g(z)$ четные, то ограничимся рассмотрением случая $z \geq 0$. Применим для уравнения (6) графический метод анализа корней, предложенный в [4]. Необходимым условием наличия у (6) шести действительных корней при любом θ является наличие у функции $f(z)$ трех неотрицательных корней $z_{1+} = \sqrt{\beta}$, $z_{2+} = \sqrt{1 - \omega_1^*}$, $z_{3+} = \sqrt{1 + \omega_1^*}$ (что выполняется при $|\omega_1^*| \leq 1$) и двух неотрицательных корней у функции $g(z)$. Достаточные условия существования корней получаются из анализа взаимного расположения корней функций $f(z)$ и $g(z)$ и знаков одной из функций в корнях другой.

Так как

$$\begin{aligned} g(0) &= \beta(1 - \omega_1^{*2}) \geq 0 \quad (\text{при } |\omega_1^*| \leq 1), \\ g(1) &= -\beta\omega_1^{*2} < 0, \end{aligned}$$

то $g(z)$ всегда имеет два неотрицательных корня, расположенных на оси z по разные стороны от 1.

При $0 \leq \omega_1^* \leq 1$ функция $f(z)$ всегда имеет три неотрицательных корня $z_{1+} = \sqrt{\beta}$, $z_{2+} = \sqrt{1 - \omega_1^*}$, $z_{3+} = \sqrt{1 + \omega_1^*}$, причем всегда $z_{2+} \leq z_{3+}$ (при

$-1 \leq \omega_1^* < 0$, $z_{2+} > z_{3+}$). В зависимости от значений β и ω_1^* возможны три случая взаимного расположения корней z_{1+} , z_{2+} , z_{3+} :

- 1) $\beta \leq 1 - \omega_1^* \Rightarrow z_{1+} \leq z_{2+} < z_{3+}$;
- 2) $1 - \omega_1^* < \beta \leq 1 + \omega_1^* \Rightarrow z_{2+} < z_{1+} \leq z_{3+}$;
- 3) $\beta > 1 + \omega_1^* \Rightarrow z_{2+} < z_{3+} < z_{1+}$.

С учетом неравенств

$$\begin{aligned} g(z_{1+}) &= \beta(\beta(\beta-1) + \omega_1^{*2}), \\ g(z_{2+}) &= \omega_1^*(\omega_1^* - 1) \leq 0, \\ g(z_{3+}) &= \omega_1^*(\omega_1^* + 1) \geq 0, \\ f(0) &= \beta(\omega_1^{*2} - 1) \leq 0, \end{aligned}$$

Получим следующие совместные графики функций $f(z)$ и $g_1(z) = tg^2\theta \cdot g(z)$ для случаев 1)-3) (Рис. 1).

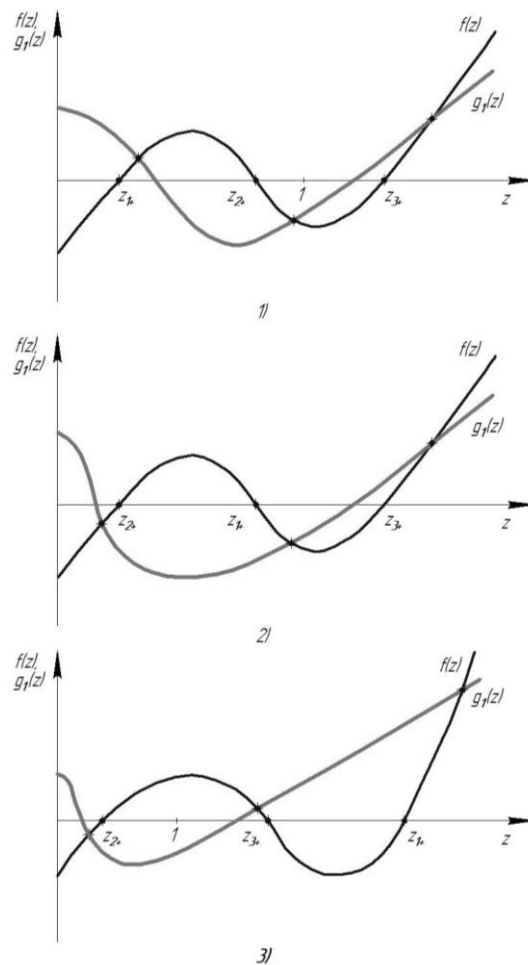


Рис. 1. Совместные графики функций $f(z)$ и $g_1(z)$ для случаев 1)-3)

Так как степень $g(z)$ меньше степени $f(z)$, то при больших z график $f(z)$ всегда пересечет график $tg^2\theta \cdot g(z)$ при любых значениях $tg^2\theta$. Точки пересечения графиков $f(z)$ и $g_1(z)$ соответствуют трем положительным корням дисперсионного уравнения (6).

Очевидно, что во всех трех случаях уравнение (6) будет иметь шесть симметричных корней при любых значениях $tg^2\theta$.

Таким образом, низкочастотные волны с частотой $\omega \leq \Omega_i$ не приводят к неустойчивости однородного состояния плазмы. Высокочастотные волны с частотой $\omega > \Omega_i$ приводят к неустойчивости однородного состояния уже при продольном расположении волн. При отсутствии эффекта Холла ($\omega^* = 0$) однородное состояние всегда устойчиво относительно малых возмущений.

Список литературы

[1]. Namikawa T., Hamabata H., Hosoya Y. Propagation properties of hydromagnetic waves in a hot plasma and right-hand polarized PC1 and PC5 // Planet Space Sci., 1983, Vol.31, №4, p.p. 473-481.

[2]. Stringer, T.E. (1963) Low frequency waves in an unbounded plasma. Plasma Phys. (J. Nucl. Energy) 5, 89.

[3]. Gurnet D.A., Frank L.A. (1974) Thermal and suprathermal plasma densities in the outer magnetosphere. J. Geophys. Res. 79, 2355.

[4]. Захаров В.Ю. Проблемы МГД бесстолкновительной плазмы в сильном магнитном поле/ М.: Изд-во МГУ, 1988. С.48.

Захаров Владимир Юрьевич – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vladiyuz@mail.ru

Чернова Татьяна Георгиевна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: chernova-tg@yandex.ru

И.А. Козлова

НАИЛУЧШЕЕ РАВНОМЕРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИНАНСОВОГО РЫНКА

КГУ им. К.Э. Циолковского, 248023, Россия

Введение

Для описания текущего состояния финансового рынка применяют фрактальные модели [1], например, колебание цены представляет собой скачкообразный процесс, который приближенно можно рассматривать как фрактальную модель финансового рынка – двойной зигзаг. С математической точки зрения двойной зигзаг представляет собой функцию Бланка. В экономике наиболее распространенный метод приближения функций полиномами – метод наименьших квадратов - минимизирует среднеквадратичное отклонение аппроксимирующего полинома от аппроксимируемой функции, но не гарантирует от значительных локальных ошибок. Для предотвращения подобной возможности используют полиномы наилучшего равномерного приближения, однако не известны ни общий вид многочленов наилучших равномерных приближений, ни способы их построения, поэтому среднеквадратическая мера близости применяется вместо более сложной чебышевской. В связи с этим интересно, что решение задачи чебышевского приближения всегда дает примерно ту же среднеквадратическую погрешность, что и решение задачи наилучшего среднеквадратического приближения. Обратное же утверждение не верно: наилучшее среднеквадратическое приближение, как правило, дает максимальную абсолютную погрешность, значительно превышающую погрешность чебышевского решения. Также чебышевская аппроксимация определяет ошибку в каждой точке интервала аппроксимации и ни в одной точке интервала аппроксимации ошибка не превышает максимальной (чебышевской меры) [3]. Для построения полиномов наилучшего равномерного приближения в данной работе используется нахождение чебышевского альтернанса.

Некоторые фрактальные модели финансового рынка

Фрактал - геометрическая форма, которая может быть разделена на части, каждая из которых - уменьшенная версия целого [2].

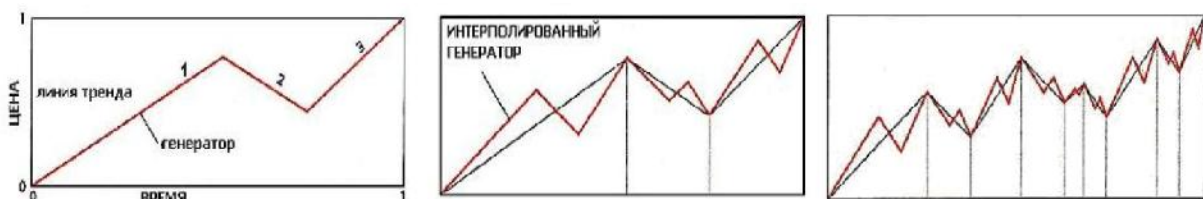


Рис. 1. Генератор фрактала из трех частей

Появляется модель, напоминающая ценовые колебания. Процесс начинается с цены, представленной прямой линией тренда (рис. 1). Затем используется ломаная линия – генератор - чтобы создать модель, которая соответствует колебаниям цены вверх и вниз. Генератор состоит из трех частей, которые интерполированы вдоль прямой линии тренда. После прорисовки начального генератора, его три части интерполированы тремя более короткими. Повторение этих шагов воспроизводит форму генератора, или ценовую кривую, но в сжатых масштабах.

Двойной зигзаг является одной из основных коррекционных волновых моделей, представляющей собой два зигзага, разделенных коррекционной волной-связкой. Двойной зигзаг является глубокой коррекцией, по отношению к корректируемой волне.

На рисунке 2 представлены в сравнении графики аппроксимации растущего двойного зигзага полиномами первого и третьего порядков с помощью среднеквадратического приближения и наилучшего равномерного приближения (чебышевского).

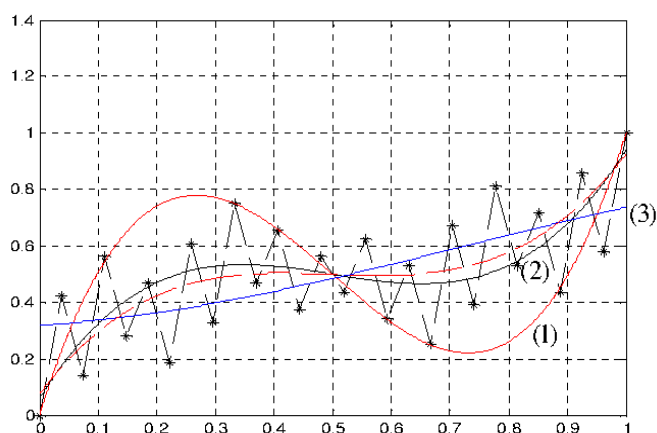


Рис. 2. Аппроксимация графика двойного зигзага полиномами третьего порядка. График наилучшего равномерного приближения – пунктирная линия. Линия (1) – среднее квадратическое приближение, для построения которого использовались 3 точки, линия (2) – 10 точек, линия (3) – 27 точек

Из данного рисунка видно, что чем больше точек берется для построения полинома, тем ближе он к полиному наилучшего равномерного приближения. Однако для построения полинома наилучшего равномерного приближения использовалось всего три точки. Из построения можно сделать вывод, что во-первых для получения полинома наилучшего равномерного приближения использовалось меньшее количество точек и во-вторых – полином наилучшего равномерного приближения аппроксимирует график растущего двойного зигзага сразу во всех ценовых масштабах.

Функция Бланка как фрактальная модель финансового рынка и ее наилучшее равномерное приближение

С математической точки зрения график двойного зигзага можно рассматривать как график функции Бланка на отрезке $[0; 1]$, построенной им в 1966 году [4]. Функция Бланка является непрерывной и не дифференцируемой, она определяется как предел последовательности ломаных и может быть представлена рядами, состоящими из аппроксимирующих функций. Для их построения используются вспомогательные функции, представляющие собой ломаные. Пусть точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2) – последовательные вершины некоторой ломаной, где $x_1 < x_2$ и $y_1 \neq y_2$. Пусть $h = (x_2 - x_1)^\lambda$ и пусть $k = \lambda(y_2 - y_1)$, где λ – положительная константа. Следующая ломаная заменяет отрезок, соединяющий точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2) , зигзагообразной линией, содержащей последовательные вершины



Рисунок 3 показывает картину аппроксимирующей функции $f_3(x)$ для $\lambda = 1/4$.

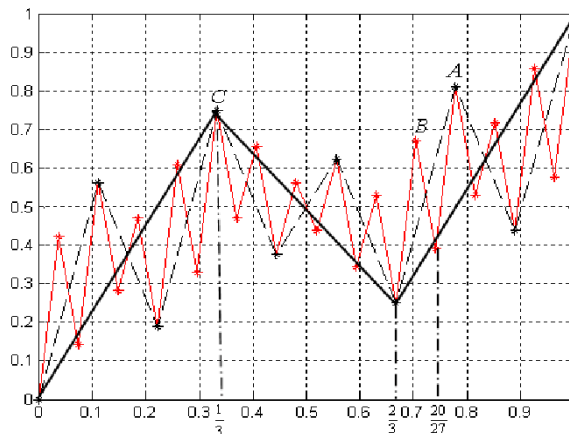


Рис. 3. Схема построения вспомогательных функций Бланка $f_1(x)$ (жирная линия), $f_2(x)$ (пунктирная линия) и $f_3(x)$

Из построения функции Бланка следует, что наименьшее значение функция Бланка принимает в точке $x = 0$ и равно 0, а наибольшее значение достигается в точке $x = 1$ и равно 1, следовательно на отрезке $[0, 1]$ функции Бланка принимает значения от 0 до 1. Аналогично, на отрезке $[0, 1/27]$ функция Бланка попадает в прямоугольник $[0, 27/64]$, причем значение 0 достигается в точке $x = 0$, а значение $27/64$ – в точке $x = 1/27$ и т.д. Таким образом, функция Бланка оказывается внутри фигуры, составленной из прямоугольников и за рамки данной фигуры она не выходит (рисунок 4). С

помощью этого построения можно находить чебышевский альтернанс для построения полиномов наилучшего равномерного приближения.

Точками чебышевского альтернанса для многочлена наилучшего равномерного приближения первого порядка являются четыре точки $x=0$, $x=1/3$, $x=2/3$, $x=1$, причем $f(0)=0$, $f(1/3)=3/4$, $f(2/3)=1/4$, $f(1)=1$. Отсюда легко получить вид этого многочлена (рисунок 2):

$$T_1 = \frac{3}{8}x + \frac{5}{16}$$

Максимальное отклонение многочлена наилучшего равномерного приближения первого порядка от функции Бланка $E_1(f) = 5/16$. Из рисунка 4 видно, что функция Бланка симметрична относительно прямой T_1 , следовательно чебышевский альтернанс будут образовывать четное количество точек и поэтому многочлены наилучшего равномерного приближения будут нечетных степеней. Аналогично может быть получен многочлен наилучшего равномерного приближения первого порядка для функции Бланка в общем виде ($0 < \lambda < 1/3$):

$$T_1 = \frac{3\lambda}{2}x + \left(\frac{1-3\lambda}{2}\right), \quad f(x) = \left(\frac{1-3\lambda}{2}\right)$$

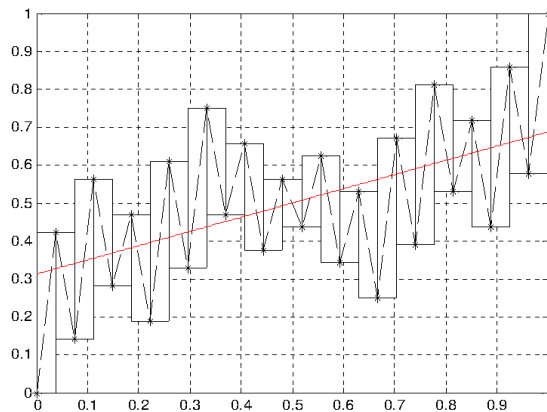


Рис. 4. Многочлен наилучшего равномерного приближения первого порядка для функции Бланка

Далее, многочлен наилучшего равномерного приближения третьего порядка для $\lambda = 1/4$:

$$T_3 = \frac{7}{8}x^3 - \frac{3}{4}x + \frac{1}{2}, \quad f(x) = \frac{1}{2} - \frac{3}{4}x + \frac{7}{8}x^3$$

Чебышевский альтернанс образуют точки $(0, 1/4, 1/2, 3/4, 1)$, отклонение $E_3 = 1/16$ (рис. 4). Аналогично можно получить много-

члены наилучшего равномерного приближения третьего и более высоких порядков в общем виде. Для их построения найдена закономерность нахождения чебышевского альтернанса в общем виде в зависимости от λ .

Получены общие выражения для точек чебышевского альтернанса для функции Бланка, по которым можно найти полиномы наилучшего равномерного приближения любого порядка. Для многочленов, степени которых кратны $(n+3)/4$, чебышевский альтернанс образуют точки $(0; 0)$,

$$\left(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}} \right), \left(\frac{2}{\sqrt{3}}, \frac{2}{\sqrt{3}} \right), \left(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

и т.д. получаем $(n+3)/2$ точек, а остальные $(n+3)/2$ точки симметричны найденным. Для многочленов, степени которых кратны $(n+9)/4$, чебышевский альтернанс образуют точки

$$\left(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}} \right),$$

$$\left(\frac{2}{\sqrt{3}}, \frac{2}{\sqrt{3}} \right), \left(\frac{2}{\sqrt{3}}, \frac{2}{\sqrt{3}} \right)$$

и т.д. получаем $(n+3)/2$ точек, а остальные $(n+3)/2$ точки симметричны найденным.

Замечание: графики многочленов наилучшего равномерного приближения для падающего двойного зигзага можно получить из соответствующих графиков аппроксимации растущего двойного зигзага с помощью преобразования $-T_n(x)+1$.

Таким образом, для анализа графика двойного зигзага в данной работе найден метод построения полиномов наилучшего равномерного приближения любого порядка с помощью нахождения чебышевского альтернанса, позволяющих аппроксимировать график двойного зигзага сразу во всех ценовых масштабах и с наименьшей погрешностью приближения.

Список литературы:

- [1]. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. *Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных*. Справочное издание. Кн. 1. Москва, Изд-во Финансы и статистика, 1983, 471с.
- [2]. Пректер Р., Фост А. *Волновой принцип Эллиота. Ключ к пониманию рынка*. Москва, Изд-во Ампина Паблишер, 2012, 270с.
- [3]. Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. *Основы цифровой обработки сигналов*. Санкт-Петербург, Изд-во БВХ-Петербург, 2005, 753с.
- [4]. Blank A. A simple example of a Weierstrass function. *Amer. Math. Monthly*, 1966, vol. 73 (3), pp. 515-519.

Козлова Ирина Александровна - старший преподаватель КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: irena19C8321@gmail.com

С.Е. Степанов

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕЙВЛЕТОВ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время одной из важных областей применения информационных технологий является анализ и обработка данных. К задачам, возникающим в этой области, относятся кластеризация, классификация, построение линейных и нелинейных моделей регрессии, визуализация и т.д. Для решения этих задач разрабатываются многочисленные методы, которые часто зависят от специфики решаемых задач. Одним из возможных направлений развития таких методов является использование вейвлетов и вейвлет-преобразований, обладающих определёнными достоинствами. Обзор возможностей применения вейвлетов представлен в данной работе.

Регрессия.

Пусть имеется ряд измеренных в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n значений некоторой функции y_1, y_2, \dots, y_n . Поскольку измеренные значения всегда содержат погрешности, то данные могут быть представлены в виде

$$y_i = g(t_i) + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

В задачах регрессии полагается, что ε_i – независимые нормально распределённые случайные величины с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией.

Целью является восстановление функции $g(t)$ по значениям y_i без наложения предварительных условий на структуру функции. Основная идея использования вейвлетов заключается в том, чтобы представить функцию $g(t)$ в виде ряда разложения по вейвлетам и получить оценку вейвлет-коэффициентов разложения, используя значения y_i . Таким образом мы сводим непараметрическую задачу восстановления функции к более простой задаче оценки параметров.

Можно отметить, что при этом попутно решается задача удаления шумов из исходного сигнала.

А) Линейная регрессия.

В случае линейной регрессии можно записать тождество

$$g(t) = c_0 \varphi(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{2^j-1} w_{jk} \psi_{jk}(t),$$

где

$c_0 = (g(t), \varphi(t))$ – скалярное произведение в пространстве $L^2(R)$ иско-
мой функции $g(t)$ и скейлинг-функции $\varphi(t)$,

$w_{jk} = (g(t), \psi_{j,k}(t))$ – скалярные произведения в пространстве $L^2(R)$
искомой функции $g(t)$ и функций $\psi_{jk}(t)$, каждая из которых получается из
материнского вейвлета $\psi(t)$ сдвигом и масштабированием.

Если предположить, что функция $g(t)$ удовлетворяет определённым
условиям регулярности, то соответствующая норма последовательности
коэффициентов w_{jk} конечна, а с увеличением индексов j и k коэффици-
енты w_{jk} стремятся к нулю.

Следовательно,

$$g(t) = c_0 \varphi(t) + \sum_{j=0}^M \sum_{k=0}^{2^j-1} w_{jk} \psi_{jk}(t),$$

для некоторого M и имеет место соответствующая оценка [1]:

$$\mathfrak{g}(t) = \mathfrak{c}_0 \varphi(t) + \sum_{j=0}^M \sum_{k=0}^{2^j-1} \mathfrak{w}_{jk} \psi_{jk}(t)$$

где коэффициенты могут быть вычислены по формулам

$$\mathfrak{c}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi(t_i) y_i, \quad \mathfrak{w}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \psi_{jk}(t_i) y_i$$

Точность оценки параметров зависит от глубины разложения M . Как
правило, это значение не может быть вычислено теоретически и подбира-
ется для конкретных данных методом перекрестной проверки.

Б) Нелинейная регрессия.

В случае нелинейной регрессии выбор оценок параметров основан на
предположении, что основная доля информации о функции $g(t)$ содержит-
ся в незначительном числе «больших» коэффициентов \mathfrak{w}_{jk} , в то время как
«малые» коэффициенты \mathfrak{w}_{jk} могут рассматриваться как погрешности. Если
принять, что «больших» коэффициентов достаточно, то все «малые» мож-
но обнулить и получить, таким образом, приближённое значение $\mathfrak{g}(t)$.

Ключевым моментом в этом подходе является определение порога,
что считать «большими» коэффициентами. В литературе предлагается ряд
методов определения порогового значения λ , как постоянного, так и из-
меняющегося (так называемого «жёсткого» и «мягкого» порога).

В работе [2] предложен универсальный порог обнуления

$$\lambda = \sigma \frac{\sqrt{2 \ln n}}{\sqrt{n}},$$

где σ – среднее квадратическое отклонение в измеренных данных, и все вейвлет-коэффициенты, абсолютные величины которых меньше λ , обнуляются.

Кроме того, в качестве методов получения порогового значения предлагается перекрёстная проверка, тестирование гипотезы о ненулевом значении коэффициента, байесовский подход и т.д.

Классификация.

Задачи классификации ставит своей целью определить на основе имеющихся характеристик, к какой из заранее определённых групп можно отнести изучаемый объект. Классификация может быть использована как для более глубокого понимания связей в имеющихся данных, так и использоваться для прогнозирования поведения новых объектов. Такие задачи часто возникают в экономике, технике, здравоохранении, образовании и многих других областях деятельности.

Использование вейвлетов в задачах классификации идёт по двум основным направлениям.

Во-первых, можно использовать вейвлет-преобразование к имеющимся данным и применять существующие методы классификации не к исходным характеристикам, а к преобразованным. Такой подход часто применяется в задачах обработки и анализа сигналов и изображений [3,4].

К такому подходу можно отнести и широко распространённый метод анализа главных компонент, в котором вместо собственных чисел могут ранжироваться абсолютные значения вейвлет-коэффициентов [5].

Применение нейронных сетей в связке с разложением по вейвлетам даёт также достаточно хорошие результаты [6].

Во-вторых, основываясь на свойствах вейвлетов, разрабатываются новые или адаптируются уже имеющиеся методы классификации.

Наиболее ярким алгоритмом, использующий такой подход, является применение так называемых машин опорных векторов с ядром из вейвлет-функций [7].

Кластеризация.

Задача кластеризации данных возникает во многих дисциплинах и имеет широкий спектр приложений. В общем виде задача кластеризации может быть сформулирована следующим образом: пусть S – множество n точек в многомерном пространстве. Требуется найти разбиение S на классы такие, что точки, принадлежащие одному и тому же классу, являются похожими друг на друга. Задача кластеризации изучается в машинном обучении, теории баз данных, статистике с различных точек зрения и с использованием разнообразных методов [8].

Масштабирующие свойства вейвлетов дают возможность разрабатывать алгоритмы, которые могут проводить процесс распознавания кластеров с учетом различных шкал.

С точки зрения теории обработки сигналов, если совокупность объектов в пространстве признаков рассматривать как n -мерный сигнал, то высокочастотные составляющие сигналов соответствуют областям пространства, где наблюдаются быстрое изменение в распределении объектов (границам кластеров), в то время как низкочастотные составляющие n -мерных сигналов с большой амплитудой соответствуют областям пространства признаков, где и сосредоточены изучаемые объекты (т.е. собственно кластеры). Таким образом, применение вейвлет-преобразования к пространству признаков даёт многомасштабное представление данных и, следовательно, возможность найти связные компоненты на различных уровнях разложения.

Как видно из приведённых выше примеров, методы, основанные на применении вейвлетов, имеют свои достоинства и позволяют разрабатывать различные эффективные алгоритмы обработки и анализа данных.

Список литературы

[1]. Abramovich F., Bailey T. C., Sapatinas T. Wavelet analysis and its statistical applications // Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician). – 2000. – V. 49. – №. 1. – P. 1-29.

[2]. Donoho D. L., Johnstone J. M. Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage // Biometrika. – 1994. – V. 81. – №. 3. – P. 425-455.

[3]. Castelli V. and Kontoyiannis I. Wavelet-based classification: Theoretical analysis // Technical Report RC-20475, IBM Watson Research Center, 1996.

[4]. Акиншин Н.С., Андреев А.В. Алгоритмы обработки зашумленных оптико-электронных изображений при использовании вейвлет-преобразований // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – №. 2. – С.59-67.

[5]. Павлов А. Н. и др. Вейвлет-анализ в нейродинамике // Успехи физических наук. – 2012. – Т. 182. – №. 9. – С. 905-939.

[6]. Alexandridis A. K., Zapranis A. D. Wavelet Neural Networks: With Applications in Financial Engineering, Chaos, and Classification. – John Wiley & Sons, 2014. – 264 с.

[7]. Zhang L. et al. Wavelet support vector machine // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics. – 2004. – Vol. 34. – №. 1. – P. 34-39.

[8]. Antoniadis A. et al. Clustering functional data using wavelets // International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing. – 2013. – V. 11. – №. 01. – P. 1350003.

Степанов Сергей Евгеньевич - канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: stepanov@bmstu-kaluga.ru

В.И. Герасимова

ОБОБЩЕНИЕ ПРИМЕРА П.П.КОРОВКИНА НЕПРЕРЫВНОЙ НИГДЕ НЕ ДИФФЕРЕНЦИРУЕМОЙ ФУНКЦИИ

КГУ им. К.Э. Циолковского, 248023, Россия

П.П. Коровкин студентам первого курса при изложении вопросов дифференцируемости функции приводил свой пример непрерывной, но нигде не дифференцируемой функции:

$$f_1(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(n! x)}{n!},$$

Данная работа посвящена обобщению примера П.П.Коровкина.

Непрерывной, но нигде не дифференцируемой функцией является функция:

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(a_n x)}{a_n}.$$

Приведем доказательство не дифференцируемости функции $f(x)$.

Воспользуемся следующим необходимым условием дифференцируемости функции:

Если $f(x)$ дифференцируема в некоторой точке x , то для любых двух бесконечно малых последовательностей α_n и β_n ($\alpha_n \rightarrow 0, \beta_n \rightarrow 0$) выполняется условие:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{f(x + \alpha_n) - f(x)}{\alpha_n} - \frac{f(x + \beta_n) - f(x)}{\beta_n} \right] = 0$$

Берем любое x и подбираем такие две бесконечно малые последовательности α_n и β_n , для которых указанное необходимое условие не выполняется.

Представим функцию $f(x)$ в виде следующей суммы трех функций:

$$f(x) = \varphi_n(x) + \psi_n(x) + \lambda_n(x), \text{ где}$$
$$\varphi_n(x) = \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\cos(a_k x)}{a_k}$$
$$\psi_n(x) = \frac{\cos(a_n x)}{a_n}$$
$$\lambda_n(x) = \sum_{k=n}^{\infty} \frac{\cos(a_k x)}{a_k}$$

$$\lambda_n(x) = \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{\cos(a_k x)}{a_k}$$

т.е. $f(x) = \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\cos(a_k x)}{a_k} + \frac{\cos(a_n x)}{a_n} + \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{\cos(a_k x)}{a_k}$,

В качестве последовательности α_n возьмем период функции ψ , т.е. T , тогда

$$\begin{aligned} \frac{f(x + \alpha_n) - f(x)}{\alpha_n} &= \frac{\varphi_n(x + \alpha_n) - \varphi_n(x)}{\alpha_n} + \\ &+ \frac{\psi_n(x + \alpha_n) - \psi_n(x)}{\alpha_n} + \frac{\lambda_n(x + \alpha_n) - \lambda_n(x)}{\alpha_n} \end{aligned}$$

При этом $\frac{\psi_n(x + \alpha_n) - \psi_n(x)}{\alpha_n}$ в силу того, что α_n – период функции ψ .
Положим, что:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \left(\frac{1}{a_{n+1}} + \frac{1}{a_{n+2}} + \dots \right) = 0$$

Из условия 1 следует: $\frac{\lambda_n(x + \alpha_n) - \lambda_n(x)}{\alpha_n}$

т.к.

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_n(x + \alpha_n) - \lambda_n(x)}{\alpha_n} &= \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{\cos[a_n(x + \alpha_n)] - \cos(a_n x)}{a_k \alpha_n} = \\ &= \frac{\cos \left[a_{n+1} \left(x + \frac{2\pi}{a_n} \right) \right] - \cos(a_{n+1} x)}{a_{n+1} \alpha_n} + \frac{\cos \left[a_{n+2} \left(x + \frac{2\pi}{a_n} \right) \right] - \cos(a_{n+2} x)}{a_{n+2} \alpha_n} + \\ &+ \dots = \frac{\cos \left[a_{n+1} x + a_{n+1} \frac{2\pi}{a_n} \right] - \cos(a_{n+1} x)}{a_{n+1} \alpha_n} \\ &+ \frac{\cos \left[a_{n+2} x + a_{n+2} \frac{2\pi}{a_n} \right] - \cos(a_{n+2} x)}{a_{n+2} \alpha_n} + \dots = 0 \end{aligned}$$

т.к. $\frac{a_{n+1}}{a_n} 2\pi, \frac{a_{n+2}}{a_n} 2\pi$ - тоже периоды ψ ,

$$\frac{\cos \left[a_{n+1} x + a_{n+1} \frac{2\pi}{a_n} \right] - \cos(a_{n+1} x)}{a_{n+1} \alpha_n} = 0,$$

следовательно

$$\frac{\cos \left[a_{n+2}x + a_{n+2} \frac{2\pi}{a_n} \right] - \cos(a_{n+2}x)}{a_{n+2}\alpha_n} = 0, \dots$$

Таким образом,

$$\frac{f(x + \alpha_n) - f(x)}{\alpha_n} = \frac{\varphi_n(x + \alpha_n) - \varphi_n(x)}{\alpha_n}$$

По формуле Тейлора:

$$\varphi_n(x + \alpha_n) = \varphi_n(x) + \varphi'_n(x)\alpha_n + \frac{\varphi''_n(c)}{2!}\alpha_n^2,$$

где c промежуточная точка между x и $x + \alpha_n$. Отсюда получим:

$$\begin{aligned} \varphi_n(x + \alpha_n) - \varphi_n(x) &= \varphi'_n(x)\alpha_n + \frac{\varphi''_n(c)}{2!}\alpha_n^2, \\ \frac{\varphi_n(x + \alpha_n) - \varphi_n(x)}{\alpha_n} &= \varphi'_n(x) + \frac{\varphi''_n(c)}{2!}\alpha_n. \end{aligned} \quad (1)$$

Выполняется условие:

$$\frac{|\cos a_n x|}{a_n} \leq \frac{1}{a_n} \text{ и } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{a_n} < \infty.$$

Оценим φ' ; для этого найдем

$$\begin{aligned} \varphi'_n(x) &= - \sum_{k=1}^{n-1} \sin(a_k x) \\ \varphi''_n(x) &= - \sum_{k=1}^{n-1} \cos(a_k x) a_k \\ |\varphi''_n(c)| &= \left| - \sum_{k=1}^{n-1} \cos(a_k x) a_k \right| \leq \sum_{k=1}^{n-1} a_k = a_1 + a_2 + \dots + a_{n-1} = \\ &= a_{n-1} \left(1 + \frac{a_{n-2}}{a_{n-1}} + \dots + \frac{a_2}{a_{n-1}} + \frac{a_1}{a_{n-1}} \right) < 2a_{n-1} \end{aligned}$$

Из условия 2 следует:

$$\left| \frac{\varphi''_n(c)}{2} \alpha_n \right| < \frac{2a_{n-1}}{2} \cdot \frac{2\pi}{a_n} = \frac{2\pi}{n} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Всегда можно найти $\frac{\pi}{a_n} \leq \beta_n$
 такое что $\cos(\cdot)$ удовлетворяет неравенству

$$|\cos(a_n(x + \beta_n)) - \cos(a_n x)| \geq 1$$

Рассмотрим

$$|\psi_n(x + \alpha_n) - \psi_n(x)| = \left| \frac{\cos[a_n(x + \beta_n)] - \cos(a_n x)}{a_n} \right| \geq \frac{1}{a_n},$$

тогда

$$\left| \frac{\psi_n(x + \beta_n) - \psi_n(x)}{\beta_n} \right| \geq \frac{1}{a_n \beta_n} \geq \frac{1}{2\pi}$$

Аналогично соотношениям (1) и (2) будем иметь:

$$\frac{\varphi_n(x + \beta_n) - \varphi_n(x)}{\beta_n} = \varphi'_n(x) + \frac{\varphi''_n(c_1)}{2!} \beta_n,$$

где $\frac{\varphi''_n(c_1)}{2!} \beta_n \rightarrow 0$, т.к. $0 < \beta_n \leq$

Рассмотрим

$$\begin{aligned} & |\lambda_n(x + \beta_n) - \lambda_n(x)| = \\ & = \left| \frac{\cos\left[a_{n+1}\left(x + \frac{2\pi}{a_n}\right)\right] - \cos(a_{n+1}x)}{a_{n+1}} \right| + \left| \frac{\cos\left[a_{n+2}\left(x + \frac{2\pi}{a_n}\right)\right] - \cos(a_{n+2}x)}{a_{n+2}} \right| \\ & \quad + \dots \leq \frac{2}{a_{n+1}} + \frac{2}{a_{n+2}} + \dots \end{aligned}$$

Тогда:

$$\left| \frac{\lambda_n(x + \beta_n) - \lambda_n(x)}{\beta_n} \right| \leq \frac{2a_n}{\pi} \left(\frac{1}{a_{n+1}} + \frac{1}{a_{n+2}} + \dots \right)$$

Итак:

$$\begin{aligned} & \left| \frac{f(x + \alpha_n) - f(x)}{\alpha_n} - \frac{f(x + \beta_n) - f(x)}{\beta_n} \right| \\ & = \left| \frac{\varphi_n(x + \alpha_n) - \varphi_n(x)}{\alpha_n} - \frac{\varphi_n(x + \beta_n) - \varphi_n(x)}{\beta_n} - \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left| \frac{\psi_n(x + \beta_n) - \psi_n(x)}{\beta_n} - \frac{\lambda_n(x + \beta_n) - \lambda_n(x)}{\beta_n} \right| \\
&= \left| \varphi'_n(x) + \frac{\varphi''_n(c)}{2} \alpha_n - \varphi'_n(x) - \frac{\varphi''_n(c_1)}{2} \beta_n - \right. \\
& \left. \frac{\psi_n(x + \beta_n) - \psi_n(x)}{\beta_n} - \frac{\lambda_n(x + \beta_n) - \lambda_n(x)}{\beta_n} \right| \\
&\geq \left| \frac{\psi_n(x + \beta_n) - \psi_n(x)}{\beta_n} \right| - \left| \frac{\varphi''_n(c)}{2} \alpha_n \right| - \\
& \quad - \left| \frac{\varphi''_n(c_1)}{2} \beta_n \right| - \left| \frac{\lambda_n(x + \beta_n) - \lambda_n(x)}{\beta_n} \right|.
\end{aligned}$$

Так как

$$\left| \frac{\psi_n(x + \beta_n) - \psi_n(x)}{\beta_n} \right| \geq \frac{1}{2\pi},$$

и

$$\left| \frac{\varphi''_n(c)}{2} \alpha_n \right| \rightarrow 0, \left| \frac{\varphi''_n(c_1)}{2} \beta_n \right| \rightarrow 0, \left| \frac{\lambda_n(x + \beta_n) - \lambda_n(x)}{\beta_n} \right| \rightarrow 0,$$

то

$$\left| \frac{f(x + \alpha_n) - f(x)}{\alpha_n} - \frac{f(x + \beta_n) - f(x)}{\beta_n} \right| \geq \frac{1}{2\pi} - \gamma.$$

Следовательно, левая часть не стремится к нулю (т.к. не стремится к нулю правая часть). Таким образом, не выполнено необходимое условие дифференцируемости функции , а так как точка x выбрана произвольно, то – не дифференцируема ни в одной точке.

Литература:

[1]. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления в 3 томах/ Г.М.Фихтенгольц. - М 5-изд. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1969. – Т. 3. – 656 с

[2]. Савотин А.И. О некоторых случаях не дифференцируемости непрерывных функций, представимых рядами//Применение функционального анализа в теории приближений. – Калинин, 1987, с.90-97

[3]. Савотин А.И., Козлова И.А. Пример П.П. Коровкина непрерывной нигде не дифференцируемой функции//Математика в современном мире. – Калуга, 2008, с.76-82

Герасимова Виктория Игоревна - студент КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: gerasimowa.victoria@yandex.ru

Ю.В. Обрубов, Н.Д. Влайков, М.В. Владыкин

ПОИСК АСТЕРОИДОВ, РОДСТВЕННЫХ ФАЭТОНУ, ПО ДАННЫМ ЭВОЛЮЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

На первом этапе поиска генетически связанных астероидов часто используют различные критерии близости орбит: D - критерий Саутворта-Хокинса [1], T - критерий Тиссерана [2], постоянные Лидова C_1 и C_2 [3,4] и другие. Значения данных критериев дают возможность предполагать наличие связи между объектами. Однако эти критерии не являются постоянными, так как изменяются в различной степени в результате эволюции орбит под действием планетных возмущений. При изучении влияния планетных возмущений на критерии близости орбит околоземных объектов, оказалось, что относительное постоянство сохраняют геоцентрические скорости, критерий Тиссерана, постоянные Лидова, собственные эксцентриситеты и наклоны орбит [5]. Таким образом, при выборе объектов с близкими значениями критериев следует учитывать не только их значение на данном интервале времени, но и некоторую окрестность, в пределах которой данный критерий может меняться под действием планетных возмущений.

Астероид Фаэтон входит в группу Аполлона. Элементы орбит астероидов этой группы были получены из каталога NASA [6]. Для всех объектов по формулам (1), (2) были вычислены постоянные Лидова C_1 и C_2 .

$$C_1 = (1 - e^2) \cos^2 i \quad (1)$$

$$C_2 = e^2 (0,4 - \sin^2 i \sin^2 \omega) \quad (2)$$

В этих формулах e – эксцентриситет, i – угол наклона, ω – аргумент перигелия орбиты астероида.

Результаты вычислений в координатной плоскости $C_1 - C_2$ представлены на Рис. 1.

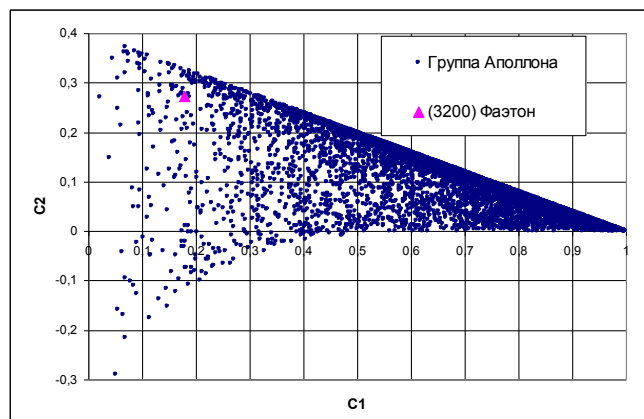


Рис. 1. Распределение астероидов группы Аполлона и Фаэтон на плоскости $C_1 - C_2$.

Значения C_1 и C_2 астероида Фэтон, вычисленные по элементам орбит на момент времени $t = 2000$, равны 0,178 и 0,274 соответственно. Его положение в группе на плоскости $C_1 - C_2$, отмеченное треугольником, можно видеть на Рис. 1.

Используя метод Альфана – Горячева, мы вычислили вековые возмущения элементов орбит астероида Фэтон на интервале времени от -200000 лет до 2000 лет. Эволюция постоянных C_1, C_2 для орбиты Фэтона представлена на Рис.2.

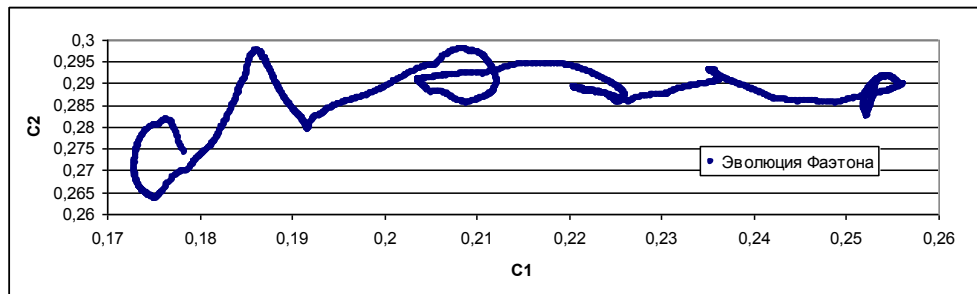


Рис. 2 Вековая эволюция орбиты Фэтона на плоскости $C_1 - C_2$.

Для всех оскулирующих орбит Фэтона, постоянные Лидова изменяются в пределах: $C_{1\min} = 0,173$, $C_{1\max} = 0,256$, $C_{2\min} = 0,264$, $C_{2\max} = 0,297$.

Можно предположить, что если среди астероидов группы Аполлона имеются объекты, генетически связанные с Фэтоном, то на плоскости $C_1 - C_2$ они должны располагаться вблизи трека Фэтона.

Для дальнейшего поиска возможно связанных астероидов зададим область со следующими границами:

$$\begin{cases} 0,17 \leq C_1 \leq 0,26 \\ 0,26 \leq C_2 \leq 0,3 \end{cases} \quad (3)$$

В эту область, кроме Фэтона попадает 43 объекта. Расположение элементов данного множества в плоскости $C_1 - C_2$ представлено на Рис. 3.

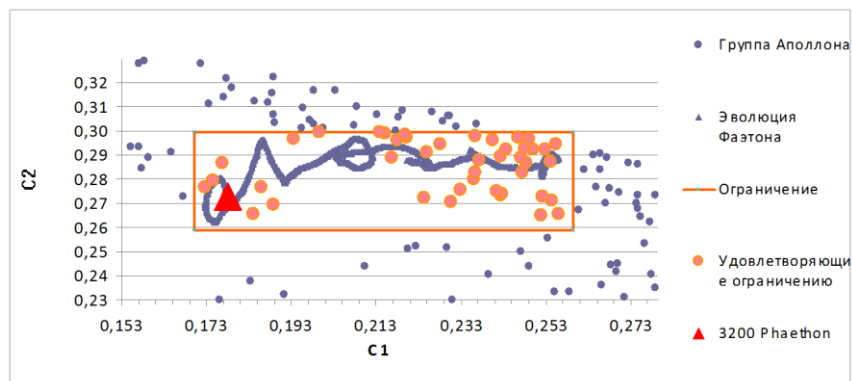


Рис. 3. Астероиды группы Аполлона, попадающие в заданную область.

Выбранные объекты имеют большой разброс в значениях большой полуоси $1,1 \leq a \leq 4,46$, тогда как большие полуоси не имеют вековых изменений. То есть большая полуось постоянна. Однако изменение большой полуоси в процессе эволюции может произойти после тесного сближения с одной из больших планет. Для Фазтона $a = 1,27$ а.е.. Постоянные Лидова (1, 2) не содержат явно параметр a . Введем для отобранного множества дополнительное ограничение: $1,07 \leq a \leq 1,47$ а.е.. Список астероидов, удовлетворяющих всем принятым ограничениям, приведен в таблице 1.

Таблица 1. Астероиды группы Аполлона, удовлетворяющие ограничениям.

№	Объект	a в а.е.	e	i в град.	ω в град.	Ω в град.
1	259221 (2003 BA21)	1,100	0,833	23,730	18,101	308,905
2	141079 (2001 XS30)	1,165	0,828	28,527	0,867	251,467
3	3200 Phaethon	1,271	0,890	22,240	322,144	265,265
4	155140 (2005 UD)	1,275	0,872	28,678	207,573	19,745
5	(2014 DE80)	1,476	0,825	26,676	182,300	164,774

Таблица 1 содержит 4 астероида, возможно связанные с астероидом (3200) Фазтон. Дальнейшие исследования возможной связи астероидов выделенной группы необходимо проводить на основе исследования эволюции орбит данных объектов.

Список литературы.

- [1]. Southworth R.B. & Hawkins G.S. Statistics of meteor streams // Smith. Contrib. Astrophys., 1963, Vol. 7, P. 261-285
- [2]. Kozai H. Short-period comets and Apollo-Amor-Aten type asteroids in view of Tisserand invariant // Celestial Mech. And Dynam. Astron. 1992. Vol. 54. P.237-240
- [3]. Лидов М.Л. Эволюция орбит искусственных спутников планет под действием гравитационных возмущений // Искусственные спутники земли. 1961. Вып. 8. С.5-45
- [4]. Лидов М.Л., Ярская М.В. Интегрируемые случаи в задаче об эволюции орбиты спутника при совместном влиянии внешнего тела и нецентральнойности поля планеты // Косм. иссл. 1974. Т.12. №2. С. 155-170
- [5]. Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д. Влияние планетных возмущений на критерии близости орбит околоземных объектов // V Бредихинские чтения: материалы Международной конференции. – 12-16 мая 2014. Заволжск, Россия. URL: // <http://agora.guru.ru/display.php?conf=bredikhin2014>. –С. 27
- [6]. APO orbital elements URL: // http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo_elem (дата обращения 24.05.2015)

Обрубов Юрий Викторович - д-р физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kristya@bmstu-kaluga.ru

Влайков Николай Дмитриевич – канд. техн. наук, старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nick-vlaikov@yandex.ru

Владыкин Михаил Владимирович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: michalie17@gmail.com

Ю.В. Обрубков, Н.Д. Влайков, В.А. Богов

СЕМЕЙСТВО АСТЕРОИДОВ (3200) ФАЭТОН

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

Для исследования взаимосвязи астероидов часто используют критерии близости орбит: C_1 , C_2 - постоянные Лидова [1,2], T - критерий Тиссерана [3], D_{sh} - критерий Саутворта-Хокинса [4] и его возможные модификации.

Используя критерий Саутворта – Хокинса среди астероидов группы Аполлона для дальнейшего исследования был выбран астероид 2011 ХАЗ, имеющий наиболее близкую к орбите Фэтона орбиту [5].

Однако, значения критериев D_{sh} , C_1 , C_2 , T изменяются в процессе эволюции орбиты [6]. Изменения D_{sh} могут быть существенными. В этой связи поиск астероидов, основанный на текущем значении D_{sh} -критерия, может сужать множество возможно связанных объектов. Для устранения этого недостатка можно использовать приведенный критерий $D_{\omega=0}$. То есть сравнивать орбиты на момент равенства нулю их аргументов перигелиев. Этот подход позволяет оценить разность между орбитами, находящимися в одинаковом эволюционном положении.

Большие значения D_{sh} -критерия Саутворта и Хокинса возникают, как правило, при сравнении орбит, которые находятся в различных эволюционных положениях. Поэтому перед вычислением этого критерия необходимо привести сравниваемые орбиты в одинаковые эволюционные положения. Эволюционное положение или состояние орбиты обычно характеризуют значением аргумента перигелия - ω . Считается, что орбиты находятся в одинаковых эволюционных состояниях, если аргументы перигелиев их орбит совпадают. Значение аргумента перигелия определяет значения таких элементов орбит, как наклон, эксцентриситет и перигелийное расстояние.

Для качественного решения этой задачи будем считать C_1 , C_2 константами. Из постоянства C_1 , C_2 следует [7], что наибольшие значения эксцентриситета e_{\max} и наименьшие наклоны i_{\min} достигаются при значениях аргумента перигелия ω равных 90^0 или 270^0 , а наибольшие наклоны i_{\max} и наименьшие эксцентриситеты e_{\min} достигаются при ω равных 0^0 или 180^0 . Эти предельные значения могут быть вычислены по формулам [8,9]:

$$e_{\min} = \sqrt{2,5 C_2}, \quad i_{\max} = \arccos \sqrt{\frac{C_1}{1 - e_{\min}^2}}; \quad \omega = 0^0 \text{ или } 180^0; \quad (1)$$
$$e_{\max} = \sqrt{\frac{5}{6}(d + \sqrt{d^2 + 2,4 C_2})}, \quad i_{\min} = \arccos \sqrt{\frac{C_1}{1 - e_{\max}^2}}; \quad \omega = 90^0 \text{ или } 270^0;$$

В формулах (1) $d = \frac{3}{5} - (C_1 + C_2)$.

В нашем исследовании все орбиты астероидов группы Аполлона мы привели в одинаковое эволюционное положение, соответствующее значению аргумента перигелия $\omega = 0^0$. Для этого по формулам (1) мы вычислили минимальные значения эксцентриситетов и максимальные значения наклонов орбит всех астероидов группы Атона. Полагая большие полуоси орбит a неизменными, мы вычислили также максимальные значения перигелийных расстояний - $q_{\max} = a(1 - e_{\min})$.

Опыт вычисления планетных возмущений орбит околоземных астероидов показывает, что скорость изменений долгот восходящих узлов и аргументов перигелиев в большинстве случаев примерно одинакова, но эти изменения противоположны по направлению. При прямом движении, то есть при наклоне $i < 90^0$ долгота восходящего узла убывает, тогда как аргумент перигелия возрастает. В результате скорость изменения долготы перигелия $\pi = \Omega + \omega$ намного меньше скорости изменения Ω или ω по отдельности. На этом основании мы полагали $\pi = \Omega + \omega = const$ и поэтому для $\omega = 0$ долгота узла принималась равной долготе перигелия исходной орбиты $\Omega = \pi$.

Таким образом, все исследуемые орбиты были приведены в одно эволюционное положение. Для полученных орбит по формулам (2) был вычислен приведенный критерий Саутворта и Хокинса - $D_{\omega=0}$.

Значение этого критерия вычислялось по формуле (2):

$$D_{\omega=0}^2 = (\Delta e_{\min})^2 + (\Delta q_{\max})^2 + 4 \sin^2 \frac{\Delta i_{\max}}{2} + \left[4 \sin i_{1\max} \sin i_{2\max} + (e_{1\min} + e_{2\min})^2 \right] \sin^2 \frac{\Delta \pi}{2}, \quad (2)$$

где $\Delta e_{\min} = e_{1\min} - e_{2\min}$, $\Delta i_{\max} = i_{1\max} - i_{2\max}$, $\Delta q_{\max} = q_{1\max} - q_{2\max}$, $\Delta \pi = \pi_1 - \pi_2$.

Результаты вычислений и поиска близких орбит представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Значения D_{sh} и приведенного $D_{\omega=0}$ - критерия ($D_{\omega=0} < 0,3$).

Объект	a	e	i	ω	Ω	C1	C2	D_{sh}	$D_{\omega=0}$
3200 Phaethon	1,271	0,890	22,2 40	322,1 44	265,2 65	0,17 8	0,20 5	-	-
225416 (1999 YC)	1,422	0,831	38,2 13	156,3 80	64,80 6	0,19 2	0,16 6	1,00 3	0,2 01
252373 (2001 SA270)	1,302	0,735	38,5 26	15,59 6	210,0 32	0,28 1	0,21 4	0,59 1	0,2 42
(2012 US68)	2,501	0,958	25,8 01	190,7 22	40,51 4	0,06 7	0,25 8	0,76 0	0,2 67
(2006 TC)	1,538	0,912	19,6 24	61,08 8	152,1 93	0,15 0	0,24 2	0,63 7	0,2 75
(2001 YO2)	1,294	0,688	48,0 20	311,4 85	266,2 20	0,23 5	0,13 6	0,57 2	0,2 82

В Таблице 1 содержится пять астероидов не выявленных на предварительном этапе поиска: 225416 (1999 YC), 252373 (2001 SA270), (2012 US68),

(2006 TC), (2001 YO2). Для этих астероидов начальные значения $D_{sh} > 0,3$, тогда как приведенные значения $D_{\omega=0} < 0,3$. В результате выявлена группа астероидов, для которых возможность генетической взаимосвязи наиболее вероятна, так как выполняются необходимые условия близости орбит. Наибольший интерес с точки зрения установления генетической связи представляют объекты, имеющие наименьшие значения данных критериев. Следующим этапом исследования будет вычисление дифференциальных планетных возмущений орбит выделенных астероидов и попарное сравнение оскулирующих орбит с помощью критериев их близости.

Список литературы

[1]. Лидов М.Л. Эволюция орбит искусственных спутников планет под действием гравитационных возмущений // Искусственные спутники земли. 1961. Вып. 8. С.5-45

[2]. Лидов М.Л., Ярская М.В. Интегрируемые случаи в задаче об эволюции орбиты спутника при совместном влиянии внешнего тела и нецентральности поля планеты // Косм. иссл. 1974. Т.12. №2. С. 155-170

[3]. Kozai H. Short-period comets and Apollo-Amor-Aten type asteroids in view of Tisserand invariant // Celestial Mech. And Dynam. Astron. 1992. Vol. 54. P.237-240

[4]. Southworth R.B. & Hawkins G.S. Statistics of meteor streams // Smith. Contrib. Astrophys., 1963, Vol. 7, P. 261-28

[5]. Влайков Н.Д., Богов В.А., Каретин А.А.. Поиск астероидов, возможно связанных с (3200) Фаэтон // Научные технологии в приборостроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы региональной НТК, 21-23 апреля 2015 г. Т. 2.- Калуга, изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. - С. 69-71.

[6]. Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д. Влияние планетных возмущений на критерии близости орбит околоземных объектов // V Бредихинские чтения: материалы Международной конференции. – 12-16 мая 2014. Заволжск, Россия. URL: // <http://agora.guru.ru/display.php?conf=bredikhin2014>. –С. 27

[7]. Симоненко А.Н., Астероиды, или тернистые пути исследований. М., Наука, 1985. 208 с.

[8]. Бабаджанов П.Б., Обрубов Ю.В. О форме короткопериодических метеороидных роев // Докл. АН Тадж.ССР, 1987, т. 30, №8, С. 486-491

[9]. Babadzhanov P.B., Obrubov Yu.V. // Evolution of meteoroid streams. In Interplanetary matter, 1987, Praha, P. 141-150

Обрубов Юрий Викторович - д-р физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kristya@bmstu-kaluga.ru

Влайков Николай Дмитриевич – канд. техн. наук, старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nick-vlaikov@yandex.ru

Богов Виктор Алексеевич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: viktor@yandex.ru

Ю.В. Обрубков, Н.Д. Влайков

ЭВОЛЮЦИЯ ОРБИТ АСТЕРОИДОВ ФАЭТОН (3200) И 2011ХАЗ

КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калуга, 248000, Россия

Благодаря созданию и успешной работе космического инфракрасного телескопа IRAS в 1983 г. был открыт астероидоподобный объект, получивший предварительное обозначение 1983 ТВ. После обработки результатов наблюдений и первых определений орбиты этого объекта оказалось, что она очень близка к орбите метеороидного роя Геминид. Эти орбиты имеют очень малое перигелийное расстояние – всего лишь 0,14 а.е., и короткий период обращения – 1,43 года. Объектов с такими элементами орбиты было известно крайне мало. На этом основании Ф.Уиппл сделал вывод о возможности связи этого объекта с метеороидным роем Геминид. Позже этот вывод был неоднократно подтвержден исследованиями многих авторов.

Согласно современным представлениям Фаэтон является членом роя Геминид и, возможно, наиболее крупным остатком родительского тела роя. Возможно, при разрушении родительского тела образовался не только Фаэтон, но и другие крупные осколки. Поэтому представляет интерес провести поиски астероидов, возможно связанных с Фаэтоном, так как за последние 32 года открыто более 6000 астероидов группы Аполлона, членом которой является Фаэтон.

При поиске астероидов, возможно связанных с астероидом (3200) Фаэтон, был найден астероид 2011 ХАЗ, также входящий в группу Аполлона [1]. Выбор был сделан на основе значения критерия близости орбит $D_{sh} = 0,205$ - Саутворта – Хокинса [2]. Постоянные Лидова C_1 и C_2 , а также критерий Тиссерана T_j также имеют близкие значения. Элементы орбит исследуемых астероидов и текущие значения критериев приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Элементы орбит и значения критериев для астероидов Фаэтон (3200) и 2011 ХАЗ

№	Название	a а.е.	e	i град.	ω град.	Ω град.	C_1	C_2	T_j	D_{sh}
1	3200 Фаэтон	1,27	0,89	22,2	322,1	265,3	0,178	0,274	3,657	0,205
2	2011 ХАЗ	1,47	0,928	28,1	323,8	273,6	0,108	0,278	3,125	

Данные Таблицы 1 показывают, что на текущий момент времени объекты имеют близкие значения элементов орбит. Однако, эти параметры в процессе эволюции под действием планетных возмущений, претерпевают существенные изменения. Эволюция орбиты 3200 Фаэтон и 2011 ХАЗ бы-

ла вычислена нами на интервале времени 30000 лет (от -15000 года до 15000 года) по методу Эверхарта [3] и от -200000 года до 20000 года по методу Альфана–Горячева [4]. Вычисления проводились с учетом возмущений от всех больших планет и с учетом взаимных возмущений орбит и самих больших планет. В случае, если объекты генетически связаны, то на момент их разделения (или отделения от родительского тела) их элементы орбит должны быть практически равными, так как скорости их разлета чрезвычайно малы, по сравнению с орбитальными скоростями в точке дробления. Поэтому должен быть найден момент или интервал времени, на котором разница в элементах орбит исследуемых объектов минимальна.

На рис 1-4 представлены результаты вычисления дифференциальных возмущений высокоточным методом Эверхарта.

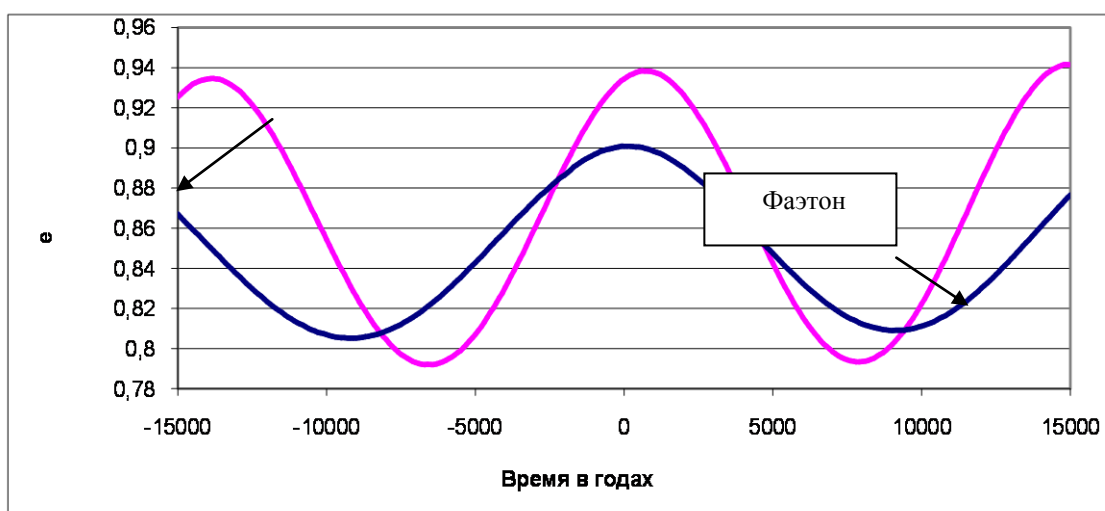


Рис. 1. Изменение эксцентриситета.

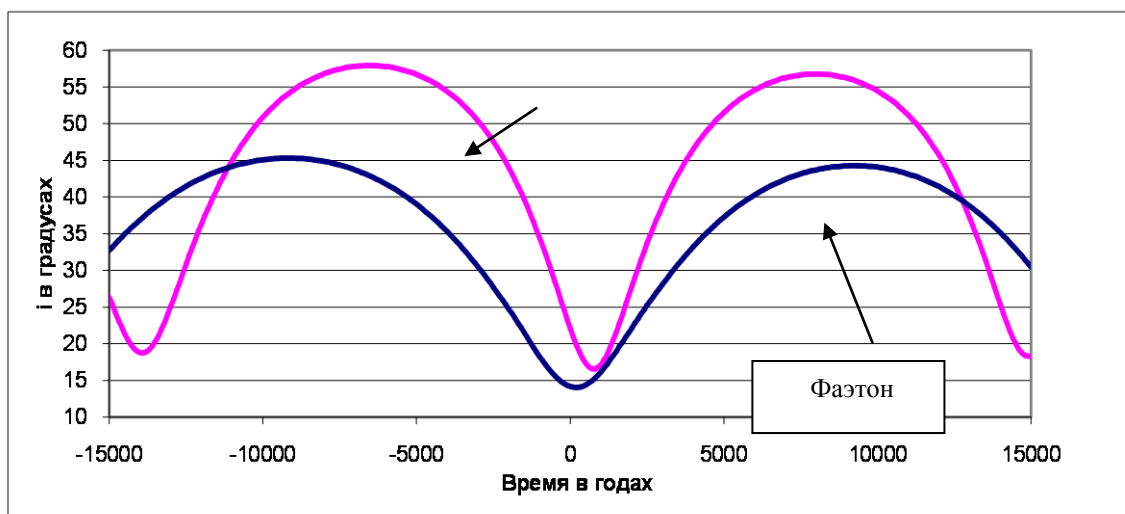


Рис. 2. Изменение угла наклона.

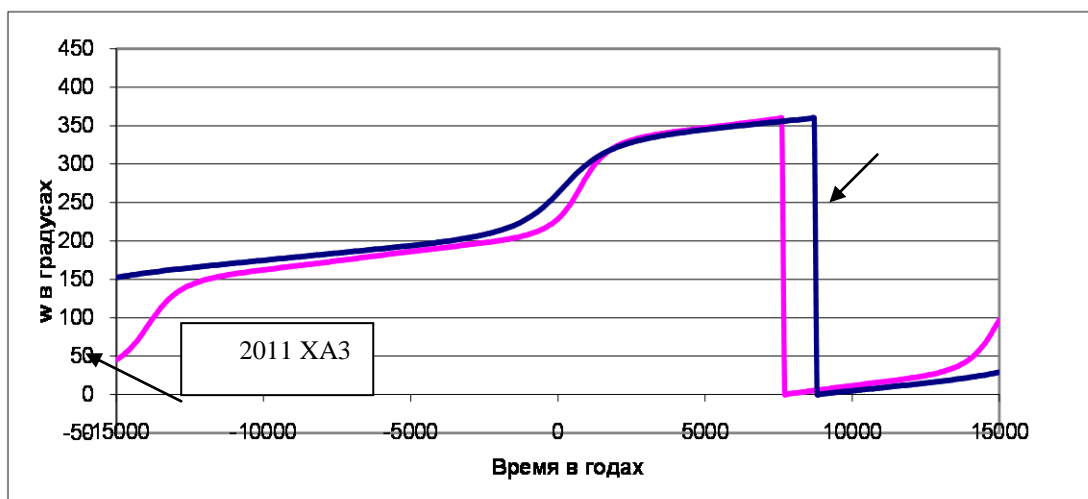


Рис. 3. Изменение аргумента перигелия.

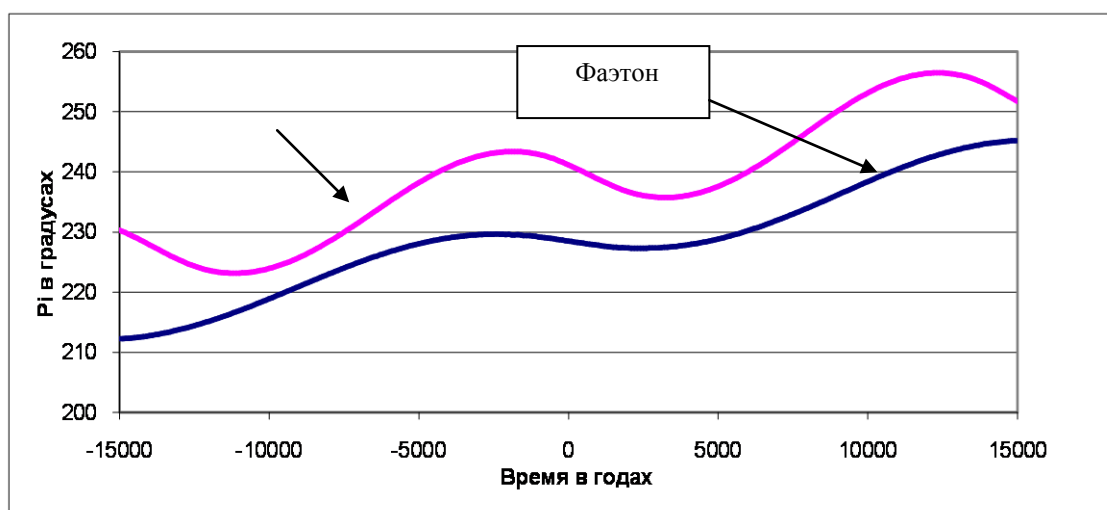


Рис. 4. Изменение долготы перигелия.

Рисунки 1-4 показывают одинаковый характер изменения элементов орбит сравниваемых астероидов. Различия в максимальных значениях углов наклона не превышают 15° ; а в минимальных 3° , наибольшие и наименьшие значения эксцентриситетов отличаются не более чем на 0,03. Так же можно отметить различие в периодах колебаний наклона и эксцентриситета для Фаэтона и 2011 XA3. Либрация долготы перигелия происходит практически синхронно.

Сравнение эволюции орбит астероидов (3200) Фаэтон и 2011 XA3 на более длительном интервале времени 160000 лет проведено на основе вычисления вековых планетных возмущений по методу Альфана–Горячева. Результаты вычислений представлены на рисунках 5-8.

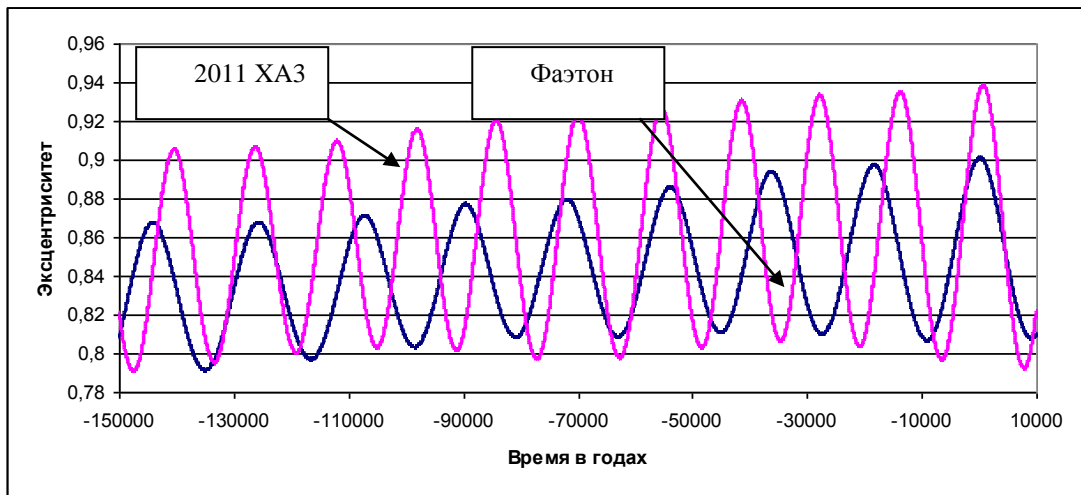


Рис. 5. Изменение эксцентриситета.

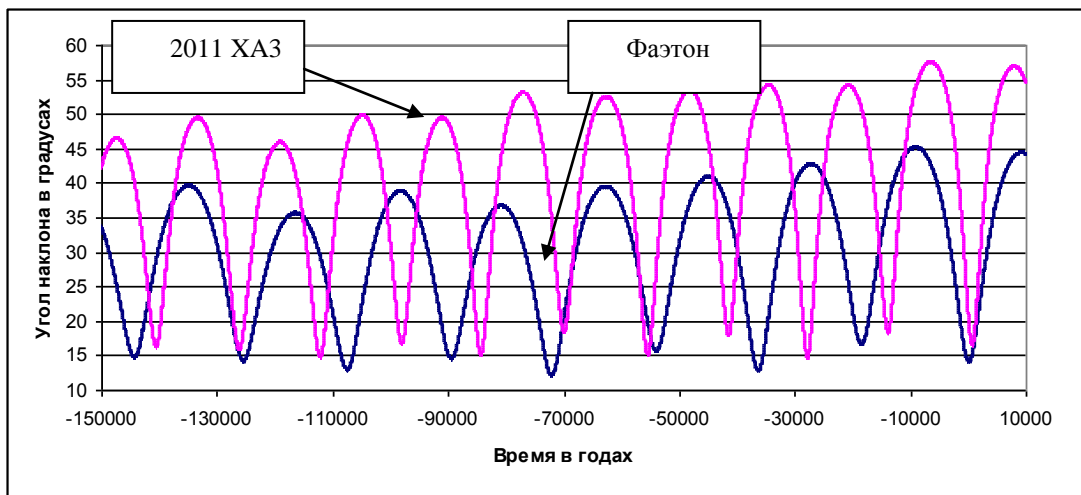


Рисунок 6. Изменение угла наклона.

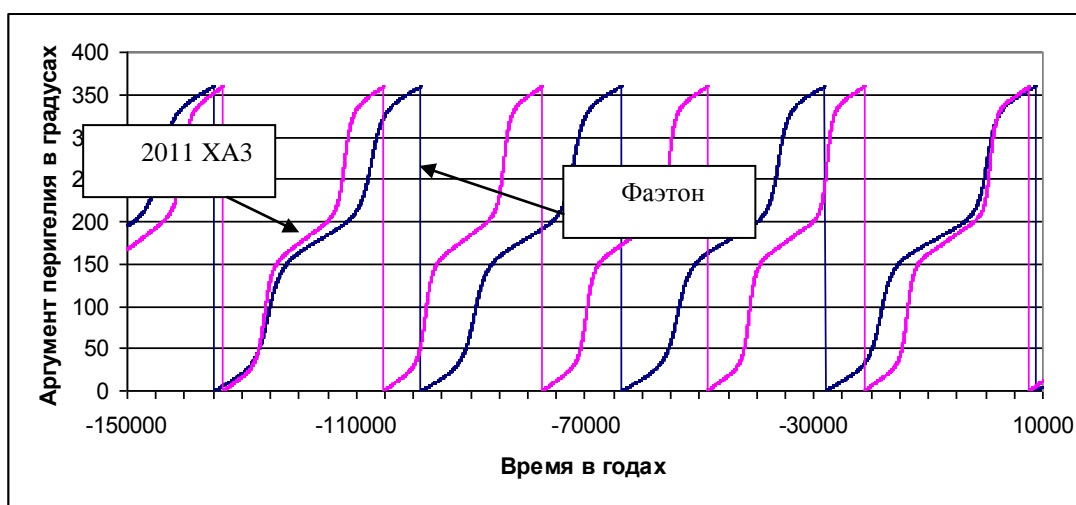


Рисунок 7. Изменение аргумента перигелия.

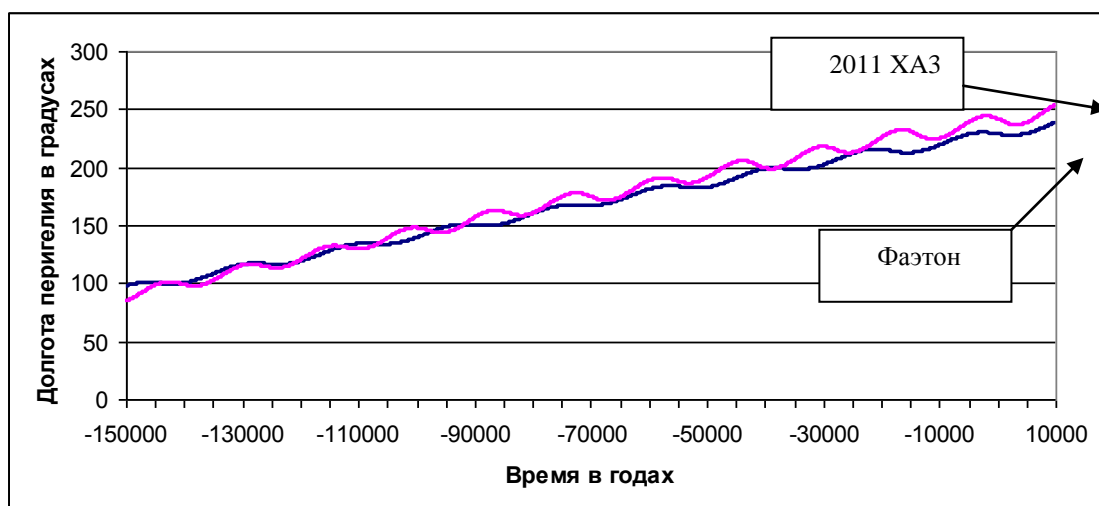


Рисунок 8. Изменение долготы перигелия.

Рис. 5-8 подтверждают согласованность результатов вычислений методами Эверхарта и Альфана–Горячева. На исследуемом интервале времени имеется несколько моментов, в которых значения элементов орбит равны. Графики аргументов перигелия пересекаются в районе 2000 лет и -127000 лет. В эти моменты времени орбиты исследуемых объектов находятся в одинаковом эволюционном положении. На интервале времени от -130000 до -110000 лет значения долгот перигелия практически совпадают.

В этот же период D_{sh} - критерий принимает наименьшее значение, равное примерно 0,065. Элементы орбит исследуемых астероидов на момент наибольшего сходства $T=127000$ лет, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Элементы орбит и значения критериев для астероидов Фэтон (3200) и 2011 ХА3 на момент $T=127000$ лет

№	Название	a (а.е.)	e	i (град.)	ω (град.)	Ω (град.)	D_{sh}
1	3200 Фэтон	1,27	0,864	18,0	50,96	65,99	0,065
2	2011 ХА3	1,47	0,904	19,4	53,92	61,62	

Проведенные исследования эволюции орбит астероидов (3200) Фэтон и 2011 ХА3 различными методами дали качественно одинаковый результат. Этот факт говорит о возможности использовать оба метода для исследования эволюции орбит объектов.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что вполне вероятно астероиды (3200) Фэтон и 2011 ХА3 являются осколками одного родительского тела, которое разрушилось примерно 127 тысяч лет назад.

Список литературы

[1]. Влайков Н.Д., Богов В.А., Каретин А.А.. Поиск астероидов, возможно связанных с (3200) Фазтон // Научно-технические технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы региональной НТК, 21-23 апреля 2015 г. Т. 2.- Калуга, изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. - С. 69-71.

[2]. Southworth R.V. & Hawkins G.S. Statistics of meteor streams // Smith. Contrib. Astrophys., 1963, Vol. 7, P. 261-285

[3]. Everhart E. Implicit single-sequence method for integrating orbits // Celestial mechanics, 1974, vol. 10, p.35-55

[4]. Горячев Н.Н. Способ Halphen'a для вычисления вековых возмущений планет и применение его к Церере. Томск. Изд-во «Красное Знамя». 1937, 148 с.

Обрубов Юрий Викторович - д-р физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kristya@bmstu-kaluga.ru

Влайков Николай Дмитриевич – канд. техн. наук, старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nick-vlaikov@yandex.ru

СЕКЦИЯ 9.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТЫ

О.И. Зиновьева, А.Н.Сизов

АНАЛИЗ НТД И СРАВНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОПРИВОДОВ НА ПРИМЕРЕ ТУРБИННЫХ МАСЕЛ ТП-22 И ТП-46

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

По статистике 80% всех поломок гидравлического оборудования вызваны загрязнением системы или попаданием в нее посторонних частиц. Неуправляемое увеличение загрязнений приводит к преждевременному выходу из строя сервоклапанов, прецизионных механизмов, износу насосов и гидроцилиндров. Чтобы обеспечить высокую степень чистоты гидравлического масла оборудование оснащается фильтрующими элементами с тонкостью фильтрации до 3 – 5 мкм. Поддержание чистоты гидравлического масла может продлить срок его службы до 12-16 тыс.ч. Степень чистоты гидравлических масел нормируется классами чистоты. На территории РФ и стран СНГ распространены следующие нормативные документы, определяющие данный показатель:

- ГОСТ 17216-2001
- ISO 4406:1999
- NAS 1638
- ГОСТ 17216-2001. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей.

Это наиболее распространенный стандарт. Определяет степень загрязненности рабочей жидкости по размеру частиц. Размер частиц оценивается по определенным диапазонам. Каждому диапазону присваивается свое классификационное число, максимальное из которых становится классом чистоты. Расчет количества частиц осуществляется для объема в 100 см³.

ISO 4406:99. Приводы гидравлические. Жидкости. Метод кодирования степени загрязнения твердыми частицами.

До 1999 уже отмененная версия ISO 4406 предполагала расчет частиц размером 5 и 15 мкм. Начиная с 1999 года в новой версии данного стандарта, учитывается число частиц больше 4, 6 и 14 мкм. Расчет количества частиц осуществляется для объема в 1 см³. При сопоставлении расчетов количества частиц, выполненных по ISO 4406 с ГОСТ 17216 и NAS 1638 необходимо производить сравнения в эквивалентных объемах.

NAS 1638 (National Aerospace Standard)

Требования к чистоте в авиационных гидравлических системах были разработаны в 1960 году для оценки загрязнений рабочих жидкостей, применяемых в авиационной гидравлике. Предполагает расчет количества

частиц в 100 см^3 в заданном диапазоне почти таком же, как в ГОСТ 17216, так же максимальное классификационное число становится классом чистоты.

В таблице 1 приведено сравнение классов чистоты стандартов.

Таблица 1. Соответствие классов чистоты стандартов

ГОСТ 17216	ISO 4406:99	Количество частиц в 1 мл			NAS 1638
		>2 мкм	>5мкм	>15 мкм	
16	23/21/18	80000	20000	2500	12
15	22/20/18	40000	10000	2500	-
14	22/20/17	40000	10000	1300	11
	22/20/16	40000	10000	640	-
13	21/19/16	20000	5000	640	10
	20/18/15	10000	2500	320	9
12	19/17/14	5000	1300	160	8
11	18/16/13	2500	640	80	7
10	17/15/12	1300	320	40	6
	16/14/12	640	160	40	-
9	16/14/11	640	160	20	5
8	15/13/10	320	80	10	4

Несмотря на то, что множество зарубежных предприятий, расположенных на территории РФ, используют стандарт ISO, который устанавливает более высокие требования, большое количество заводов используют также стандарт ГОСТ. Наглядным примером широко используемых марок отечественных масел являются турбинные масла Тп-22 и Тп-46.

Турбинные масла предназначены для смазывания и охлаждения подшипников различных турбоагрегатов. Эти же масла используют в качестве рабочих жидкостей в системах регулирования турбоагрегатов, а также в циркуляционных и гидравлических системах различных промышленных механизмов. Несмотря на различия в условиях применения автомобильные и авиационные бензины характеризуются в основном общими показателями качества, определяющими их физико-химические и эксплуатационные свойства.

Турбинные масла должны обладать хорошей стабильностью против окисления, не выделять при длительной работе осадков, не образовывать стойкой эмульсии с водой, которая может проникать в смазочную систему при эксплуатации, защищать поверхность стальных деталей от коррозионного воздействия. Перечисленные эксплуатационные свойства достигаются использованием высококачественной нефти, применением глубокой очистки при переработке и введением ряда присадок, улучшающих антиокислительные, деэмульгирующие, антикоррозионные, а в некоторых случаях противоизносные свойства масел. В данной работе был проведен анализ двух типов турбинных масел: Тп-22 и Тп-46.

Масла нефтяные для турбоагрегатов Тп-22 и Тп-46 предназначены для смазывания и охлаждения подшипников разнообразных турбоагрегатов: паровых и газовых турбин, гидротурбин, турбокомпрессорных машин, а также в качестве рабочих жидкостей в системах регулирования турбоагрегатов, циркуляционных и гидравлических системах различных промышленных механизмов, где возможен непосредственный контакт с горячей водой или перегретым водяным паром. Масло Тп-22 используется в высокооборотных паровых и центробежных турбинах, турбокомпрессорах. Тп-46 используется в гидротурбинах и некоторых турбо- и центробежных компрессорах.

Сравнение физико-химических характеристик приведено в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение физико-химических характеристик турбинных масел Тп-22 и Тп-46

Наименование показателя		Тп-46
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	28,8-35,2	61,2-74,8
Индекс вязкости, не менее	90	90
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более	0,05	0,3
Стабильность против окисления:		
Осадок после окисления, %, не более	0,005	0,008
Кислотное число после окисления, мг КОН на 1 г масла, не более	0,1	0,7
Зольность, базового, масла, %, не более	0,005	0,005
Число деэмульсации, мин, не более	3,0	3,0

Таблица 3. Сравнение физико-химических характеристик турбинных масел Тп-22 и Тп-46

Коррозия на стальных стержнях	Отсутствие	Отсутствие
Цвет на колориметре ЦНТ, единицы ЦНТ, не более	3,0	5,5
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	186	220
Температура застывания, °С, не выше	Минус 15	Минус 10
Массовая доля серы в базовом масле, %, не более	0,3	0,3
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие	Отсутствие
Стабильность против окисления в универсальном приборе:		
массовая доля осадка после окисления, %, не более	0,03	0,10
кислотное число после окисления, мг КОН на 1 г масла, не более	0,03	0,15
Температура текучести, °С, не выше	Минус 6	Минус 6

Сравнение производилось по 14 параметрам, из которого видно, что отличаются друг от друга половина показателей – 8 из 16. Причем различия достаточно существенные, порядка 40-50%. Например, показатель кинематической вязкости у Тп-22 ниже на 50-55%. Это является важным фактором при выборе масла, так как в узлах трения смазочные масла должны обладать достаточно низкой вязкостью для обеспечения минимальных потерь энергии на перемешивание и преодоление внутреннего трения, беспрепятственное перекачивание масла насосом по смазочной системе (особенно при низких температурах).

Несмотря на то, что у Тп-46 выше температура вспышки, это не дает оснований делать выбор в пользу этой марки масла, так как самым важным показателем из вышеприведенных является кислотное число, которое у Тп-22 ниже в 7 раз. Кислотное число является важным эксплуатационным показателем, характеризующим наличие в масле продуктов окисления. Чем меньше этот показатель, тем лучше условия работы масла, стабильность его характеристик и больше срок эксплуатации.

Показатель ЦНТ отличается почти на 50%, что говорит о более качественной очистке Тп-22.

У Тп-22 массовая доля осадка на 70% ниже, что является большим преимуществом. Это является важным показателем при выборе масла, так как в процессе работы масел при повышенных температурах в сочетании с каталитическим действием металлов и активным влиянием кислорода воздуха происходит окисление масел с образованием нерастворимых веществ и осадению их на нагретых деталях. При этом ухудшаются эксплуатационные характеристики масел: повышается вязкость, кислотное число, коррозионность, ухудшаются противозадирные свойства.

В работе приведена таблица соответствий классов чистоты отечественного и зарубежного стандартов (ГОСТ 17216-2001 и ISO: 4406:1999). Рассмотрены характеристики и требования, предъявляемые к турбинным маслам, проведен сравнительный анализ физико-химических характеристик марок Тп-22 и Тп-46, широко используемых в настоящее время в турбиностроении.

Список литературы.

- [1]. ГОСТ 17216-2001
- [2]. ISO 4406:1999
- [3]. NAS 1638
- [4]. ГОСТ 9972-74
- [5]. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие 2-е изд, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1971. -672 с
- [6]. Никоноров Е.М. (ред.) Синтетические смазочные масла. Сборник научных трудов. М., ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1982

Зиновьева Ольга Игоревна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: zinovevaolga15@gmail.com

Сизов Александр Николаевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sizov_an@ktz.power-m.ru

И.М. Бугина, В.Ю. Савин

АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТРУБА К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО КАК ВАЖНЫЙ ЭТАП СТАНОВЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИКИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Систематическое опытное исследование сопротивления тел разной формы в аэродинамической трубе было впервые произведено знаменитым русским ученым К.Э. Циолковским в 1896-1897 гг [1].

Еще до создания своей аэродинамической трубы Циолковский проводил многочисленные эксперименты в естественных условиях. В своих опытах ученый сопоставлял сопротивление полоской пластинки и исследуемой модели с использованием рычага на естественном ветре.

От испытаний на естественном ветре Циолковский вскоре отказался, потому, что скорость ветра подвержена значительным колебаниям как по направлению, так и по величине, и вообще испытания на естественном ветре зависят от условий погоды. Циолковский построил аэродинамическую трубу с открытой рабочей частью, в которой поток создавался искусственным путем.

Аэродинамическая труба Циолковского (рис 1, 2) состояла из основания 1, кожуха 2, лопастного колеса 3, решетки 4, механизма привода 5. Диаметр лопастного колеса, состоящего из 12 лопастей, был равен 1 метру. Механизм привода был устроен следующим образом: на вал наматывался канат, который перекидывался через неподвижный блок 6 и привязывался к крюку, установленному рядом с неподвижным блоком. К подвижному блоку 7 навешивались разные грузы 8. Решетка 4, состоящая из 11 тонких горизонтальных перегородок, предназначалась для получения более равномерного поля скоростей.

Испытываемая форма 10 (рис.1), устанавливалась на столбиках, прикрепленных к открытому жестяному ящику. Ящик этот плавал в другом ящике 11 с налитой в нем водой. К последнему, на 4-х столбиках (или другими способами), прикреплялась испытываемая форма, давление на которую определялось. На том же столике 9, на котором расположен ящик с водою, была прикреплена отсечка, а на ней свободно качался маятник 12 из длинной, тонкой проволоки. К проволоке была привязана нить, за которую тянула плавающая форма, стремящаяся удалиться по направлению воздушного потока. От этого проволока отклонялась от вертикального положения. Величина отклонения определялась, на опытах, тангенсом угла отклонения, с помощью линейки 13. Путем особого опыта заранее определяется, скольким миллиграммам соответствует отклонение на 1 мм. Таким образом, все отклонения и соответствующие давления воздушного потока можно выразить в миллиграммах.

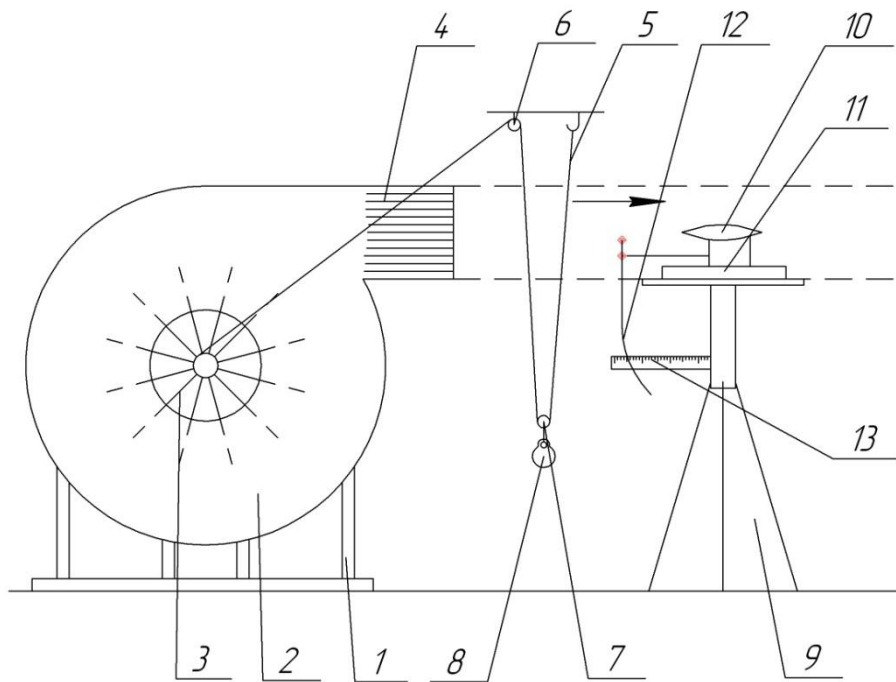


Рис. 1. Аэродинамическая труба и аэродинамические весы поплавкового типа Циолковского

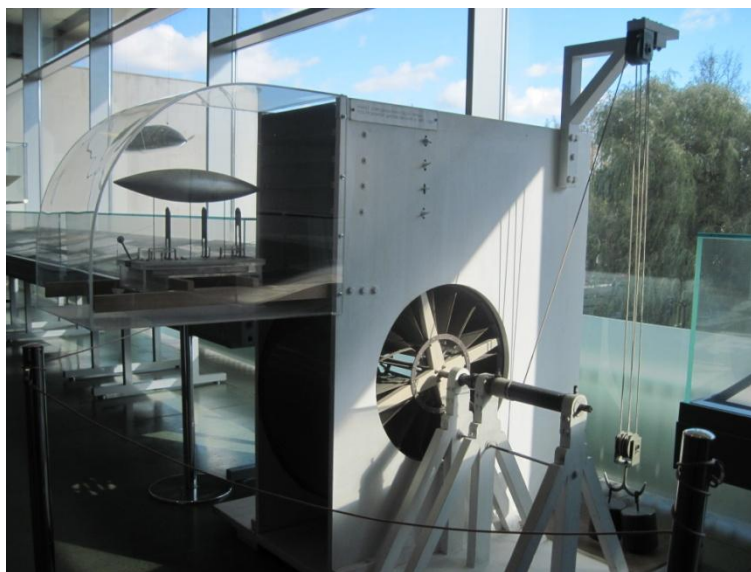


Рис. 2. Макет аэродинамической трубы Циолковского в Государственном музее истории космонавтики имени К.Э. Циолковского

Таким образом, Циолковский был не только одним из первопроходцев в создании аэродинамических труб, им также изготовлены аэродинамические весы поплавкового типа, отличающиеся большой точностью.

Циолковский писал про свою установку: «Прибор, построенный мною, так дешев, удобен и прост, так быстро решает неразрешимые теоре-

тические вопросы, что должен считаться необходимой принадлежностью каждого университета или физического кабинета» [2].

С помощью опытов Циолковский установил влияние продолговатости тела вращения на его сопротивление. Ученый показал влияние кормовой части тела на величину сил сопротивления. Он, в частности, писал, что "...некоторые авторы по сопротивлению пренебрегают значением кормовой части тела и трением воздуха (даже для продолговатых тел). Я сделаю опыты, которые выяснят этот спорный пункт".

На основании систематических экспериментов Циолковский выяснил роль сил сопротивления трения для дирижаблей, дал интерполяционные формулы для подсчета сил трения, по своей структуре близкие к современным.

Циолковский указал на значение аэродинамической трубы для решения проблем аэродинамики. Впоследствии были построены более совершенные аэродинамические трубы. В 1902 г. Н.Е. Жуковским в Московском университете была построена первая аэродинамическая труба со всасыванием воздуха (т.е. с расположением вентилятора за моделью, считая по потоку). Поле скоростей в такой трубе оказалось более равномерным и менее завихренным, нежели в трубе Циолковского. Развивались и механизмы аэродинамических весов. Получили распространение аэродинамические весы на основе системы динамометров, различающиеся по числу измеряемых компонентов. Появились аэродинамические весы с гидравлической системой разложения сил, аэродинамические весы тензометрического типа.

Список литературы

- [1] Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. Москва, Наука, 1961, 816 с.
- [2] Циолковский К.Э. Избранные труды. Москва, Издательство Академии наук СССР, 1962, 536 с.
- [3] Краснов Н.Ф. Аэродинамика. Т. 1: Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла. Москва, Высшая школа, 1976, 384 с.

Бугина Илья Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: ulihabrat2@mail.ru

Савин Владимир Юрьевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: savin.study@yandex.ru

Н.С. Цыганов

БЕСПЛОТИННЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Гидроэнергия в качестве энергоресурса имеет принципиальные преимущества по сравнению с углем или ядерным топливом. Ее не нужно добывать, как-либо обрабатывать, транспортировать, она не выдает вредных отходов и выбросов в атмосферу.

На данный момент очень распространены плотинные ГЭС. Однако они имеют ряд недостатков:

- при их размещении на равнинных реках отчуждаются плодородные пойменные земли;
- с ростом площади водохранилищ ГЭС происходит снижение скорости воды, что неблагоприятно сказывается на их водно-химическом и гидробиологическом режимах (протяженная засуха снижает и может даже прервать производство электроэнергии ГЭС);
- электроэнергию сложно и дорого передавать в труднодоступные районы, где протекает множество малых рек. Наконец, серьезную опасность представляют высотные плотины при их случайном или намеренном разрушении.

Альтернативой является бесплотинная ГЭС. Установки данного типа вырабатывает намного меньше энергии, чем плотинный аналог, однако можно выделить ряд достоинств:

- энергетические потери на транспортировку минимальны;
- низкая стоимость электроэнергии;
- отсутствие каких-либо выбросов в атмосферу;
- не нарушает режим реки;
- исключает факт затопления площадей, используемых как резервуары.

Малые ГЭС условно делят на два типа:

- “мини” - обеспечивающие единичную мощность до 5000 кВт;
- “микро” - работающие в диапазоне от 3 до 100 кВт.

Рассмотрим несколько примеров бесплотинных ГЭС и разберемся в принципе работы.

1) Гирляндная ГЭС.

Гидроэлектростанция данного типа имеет малую себестоимость, вследствие примитивной конструкции. Устанавливается поперёк русла реки. Основным элементом является гибкий вал с системой рабочих колёс. Изъяном является выдаваемая максимальная мощность, которая колеблется в пределах 7 кВт и ограничение в размещении ее на реках с узким руслом.

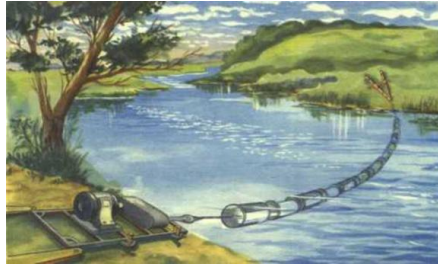


Рис. 1 Гирляндная ГЭС

2) ГЭС деривационного типа (Рис.2).

В своей концептуальной конструкции требует вырыть отдельное русло реки для установления турбины. Известны также береговые многоярусные гидротурбины, работающие в свободном потоке рек, предназначенные для преобразования энергии потока воды в электроэнергию или в другой полезный вид механической энергии. Минусом такой ГЭС является дорогостоящая установка из-за выкапывания отдельного русла.



Рис. 2 ГЭС деривационного типа

3)Бесплотинная всесезонная гидроэлектростанция (Рис.3).

Особенностями является использование открытой цепной передачи между валами. Данное решение является достаточно спорным, по причине трудностей использования в речной воде.



Рис. 3 Бесплотинная всесезонная гидроэлектростанция

4) Многоступенчатая гидротурбина. (Рис. 4)

Особенность данной установки в возможности расположения её вдоль русла реки. Принцип работы заключается в работе двух рабочих колёсах турбины, находящихся на одном валу. Вращение вала (ротора) передаётся на герметичный генератор.

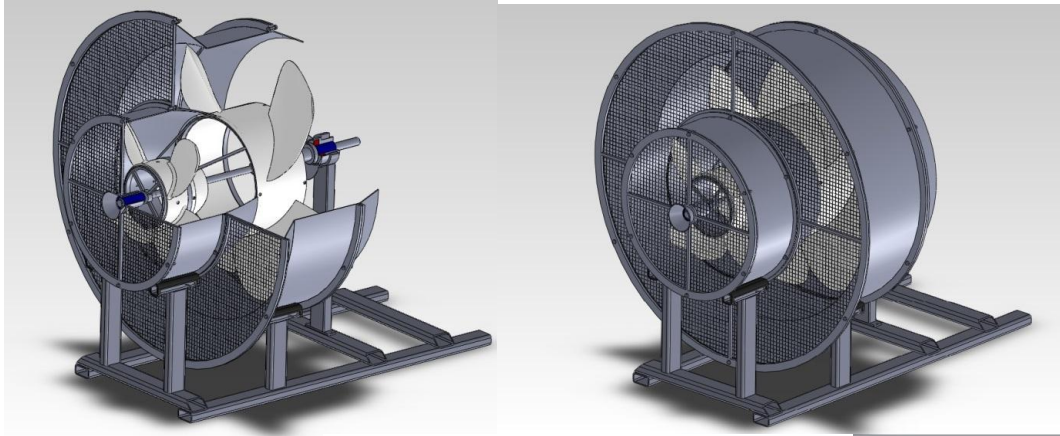


Рис. 4 Многоступенчатая гидротурбина

4) Бесплотинная Микро ГЭС от компании ООО «ОКБ ВЭС» (Рис 5).

Данный прототип разработан с целью зарядки электропотребителей на местности вблизи русловых рек. Устройство имеет массу достоинств, в числе которых: система манометров и датчиков на блоке управления, небольшая масса и габаритные размеры. Но сложность системы предполагает высокую себестоимость при малом выходном напряжении. Что является слабой стороной проекта.

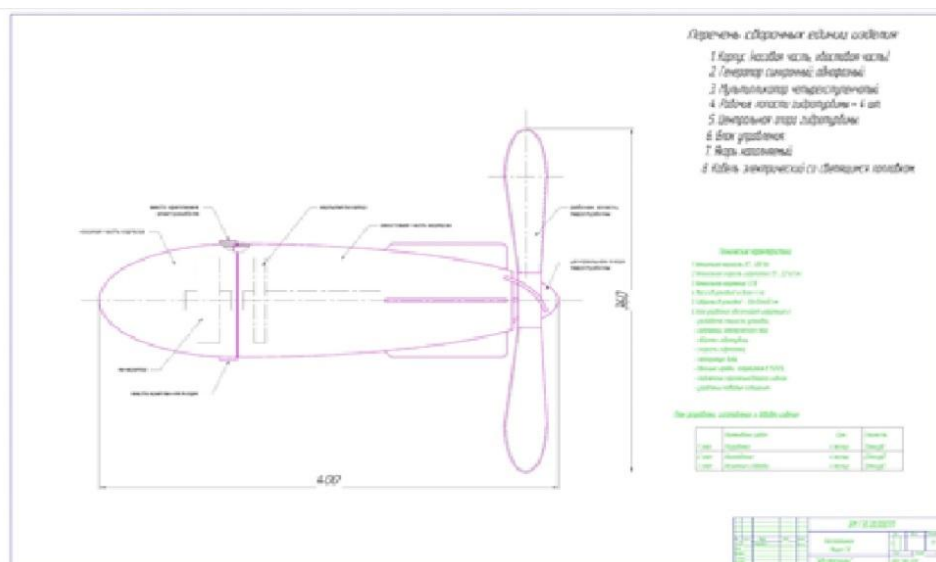


Рис. 5 Бесплотинная Микро ГЭС

В настоящее время развитие бесплотинных ГЭС очень перспективно. Перспективность и выгодность этого типа ГЭС обусловлена отсутствием затрат на возведение и содержание плотины, отсутствуют затопления больших территорий и, следовательно, отрицательное воздействия на окружающую среду

Список используемой литературы:

[1]. Новиков Ю.М. Возможности бесплотинных ГЭС. С.б. научных трудов « Энергетика и Экология », СОАН СССР, институт теплофизики. Новосибирск, 1998. URL: http://ecoclub.nsu.ru/isar/rekisib2005/p131_135.pdf

[2]. Новиков Ю.М. Отчет №126338 ОАБ «Горно-Алтайск », Москва, 1958-1963. URL: <http://berg-bendery.org/res/teacher/Dnestr%20i%20vodnaya%20politika/Water-reki-sib2005-conf.pdf>

[3]. Отчет лаборатории «Гидродинамики свободных потоков», Исследование поперечных роторов .Новосибирск ,1989. URL: http://ecoclub.nsu.ru/isar/rekisib2005/p135_137.pdf

Цыганов Никита Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: kf.tsyganoff@yandex.ru

А.Д. Козлов, В.В. Коротков

ВИХРЕВОЙ КАВИТАЦИОННЫЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Удивительные свойства вихря были отмечены и описаны еще 150 лет назад английским ученым Джорджем Стоксом.

Работая над совершенствованием циклонов для очистки газов от пыли французский инженер Джозеф Ранке заметил, что струя газа, выходящая из центра циклона, имеет более низкую температуру, чем исходный газ, подаваемый в циклон.

Интересны работы ленинградца В. Е. Финько, который обратил внимание на ряд парадоксов вихревой трубы, разрабатывая вихревой охладитель газов для получения сверхнизких температур.[2]

"На пальцах" же принцип работы объясняют так, что при раскручивании газа в вихревой трубе он под действием центробежных сил сжимается у стенок трубы, в результате чего нагревается тут, как нагревается при сжатии в насосе. А в осевой зоне трубы, наоборот, газ испытывает разрежение, и тут он охлаждается, расширяясь. Выводя газ из пристеночной зоны через одно отверстие и из осевой - через другое, достигают разделения исходного потока газа на горячий и холодный потоки.

Основной вклад в развитие основ вихревой теории в нашей стране в конце 50— начале 60-х годов прошлого столетия внес профессор Александр Меркулов Парадокс, но до Меркулова никому и в голову не приходило запустить в «трубку Ранка» жидкость. А произошло следующее; при прохождении жидкости через «улитку» она быстро нагревалась с аномально высокой эффективностью (коэффициент преобразования энергии — около 100%). Лишь в начале 90-х годов прошлого века появились первые конструктивные решения применения жидкостного теплогенератора работающего на основе вихревого эффекта.

Одной из конструкций представленной на рынке отопительного оборудования с использованием вихревого эффекта, является так называемый «Роторный кавитационный теплогенератор». Это устройство, по словам разработчиков, является новым поколением тепловых машин, преобразующих механическое, электрическое и акустическое воздействия на жидкость в тепло. Нагрев теплоносителя в устройстве осуществляется за счет следующих эффектов: преобразования кинетической энергии жидкости в тепловую энергию преобразование электрической энергии в тепловую энергию за счет электрогидравлического эффекта и нагрева тепловых элементов; преобразование гидроакустической энергии в тепловую энергию за счет кавитационных и вихревых эффектов. Принцип работы следующий «нагрев жидкости происходит при вращении ротора, который, увлекая за

собой слой жидкости, создает большие сдвиговые напряжения, срывы и пульсации вихря жидкости, интенсивную кавитацию. Периодическое со-
вмещение каналов ротора с каналами статора вызывает пульсации давле-
ния и скорости потока жидкости, что инициирует в жидкости импульсную
акустическую кавитацию и развивает турбулентность. Эти явления преоб-
разуют кинетическую и акустическую энергию в тепловую энергию. Соз-
дание разности электрических потенциалов на роторе и статоре приводит к
интенсивному нагреву электропроводящей жидкости и, при определенных
условиях, к ее электрическому пробое, возникновению плазменных и ка-
витационных образований, которые, в свою очередь, также нагревают
жидкость». Интенсивное воздействие на жидкость внутри теплогенератора
приводит к изменению ее физико-химических свойств и повышению рН,
изменению химического состава, поверхностного натяжения, вязкости,
плотности, диэлектрической проводимости, электрической проницаемости,
повышая, по словам разработчиков теплообмен, относительный коэффи-
циент теплоотдачи, уменьшают солеотложение и накипеобразование в
обогревательной системе.[1]

Роторный кавитационный теплогенератор предназначен для исполь-
зования в составе автономных, независимых систем отопления.

Вот перечень некоторых фирм занимающихся производством Вихре-
вых термогенераторов: «ЮСМАР», «НТК», «ВТГ-5», «МУСТ».

Рассмотрим вихревой термогенератор фирмы «НТК». Теплогенератор
"НТК" предназначен для преобразования энергии движущейся в нем жид-
кости в тепловую, используемую для обогрева в заданных диапазонах тем-
ператур жилых, производственных и др. помещений. В ходе работы, уста-
новки потребляя до 75 кВт энергии, позволяют обогревать помещения
объемом до 3500 м³. [3]

Список литературы.

[1]. <http://www.eemkzn.ru/plazmohimtech/teplogenerator/>

[2]. <http://www.universalintemetlibrary.ru/book/potapov/15.shtml>

[3]. <http://www.energoinform.org/professionals/vortexheatgenerator.aspx>

Козлов Артём Дмитриевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: ktogovorit@gmail.com

Коротков Виталий Владимирович – канд. техн. наук, зав. каф. КФ
МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

Т.Ю. Лосев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ПЕРЕД ПОТРЕБИТЕЛЕМ

Филиал ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина" г.Калуга

Современные системы газоснабжения (Рис. 1) представляют собой сложный комплекс сооружений, состоящий из следующих основных элементов: газовых сетей низкого, среднего и высокого давлений, газораспределительных станций, газорегуляторных пунктов и установок.

Система газоснабжения должна обеспечивать бесперебойную подачу газа потребителям, быть безопасной в эксплуатации, простой и удобной в обслуживании, должна предусматривать возможность отключения отдельных элементов или участков газопроводов для производства ремонтных и аварийных работ.

Современные схемы систем газоснабжения имеют иерархичность в построении. Верхний иерархический уровень составляют газопроводы высокого давления. Они должны быть зарезервированными, лишь для небольших систем можно ограничиться тупиковыми схемами. Резервируют сети кольцеванием или дублированием с обязательной проверкой пропускной способности при наиболее напряженных гидравлических режимах [1].

Сеть высокого давления гидравлически соединяется с остальной частью системы через регуляторы давления, оснащенные предохранительными устройствами, предотвращающими повышение давления после регуляторов. Таким образом, система разделяется на несколько иерархических уровней, на каждом уровне автоматически поддерживается максимально допустимое давление газа. С переходом на более низкий уровень давление газа снижается (дросселируется) на клапанах регуляторов, которые поддерживают давление после себя постоянным, но более сниженным соответственно нормам.

По назначению газопроводы можно разделить на следующие группы:

- распределительные газопроводы, по которым газ транспортируют по снабжаемой территории и подают его промышленным потребителям, коммунальным предприятиям и в районы жилых домов. Они бывают высокого, среднего и низкого давлений, кольцевые и тупиковые, а их конфигурация зависит от характера планировки города или населенного пункта;
- абонентские ответвления, подающие газ от распределительных сетей к отдельным потребителям;

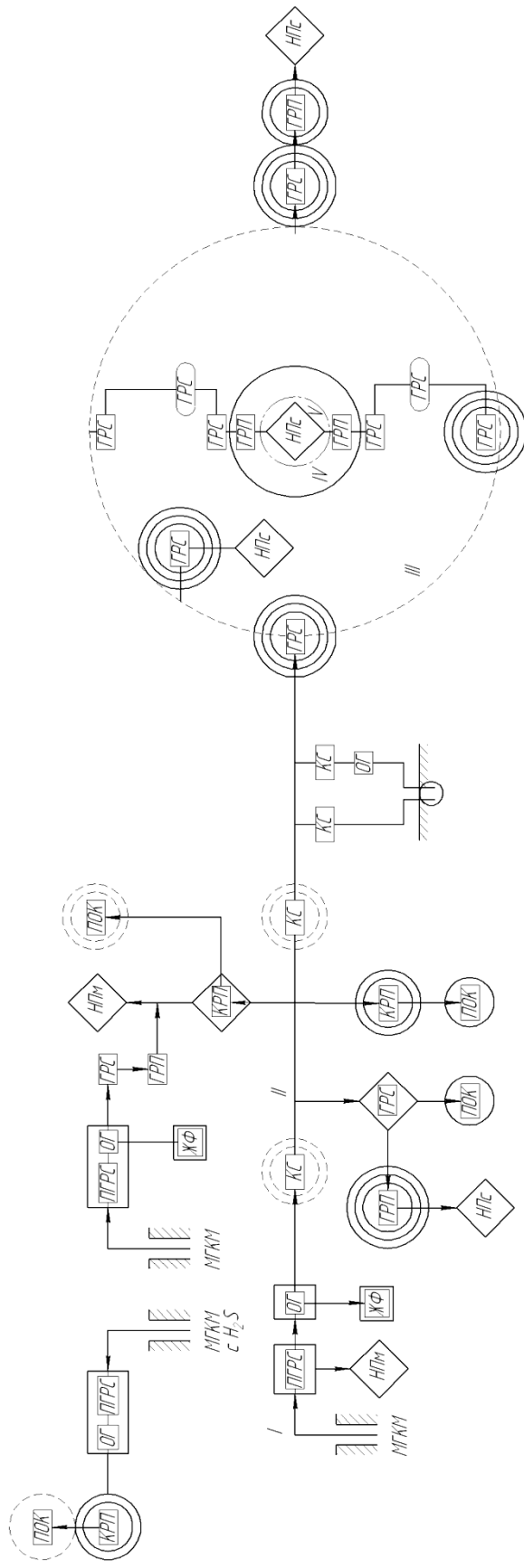


Рис. 1. Газоснабжение региона

- I – газопровод из промышленного коллектора;
 II – магистральные газопроводы 55÷75 атм;
 III – газопроводы высокого давления;
 IV – газопроводы высокого давления в черте города да 6÷12 атм;
 V – газопроводы среднего давления ≤3атм;
 ГKM – газоконденсатное месторождение;
 МГKM – малое газоконденсатное месторождение;
 МГKM с H₂S – малое сернистое газоконденсатное месторождение;
- НП_М – населённый пункт малый;
 НП_К – населённый пункт крупный;

- НП_С – населённый пункт средний;
 ПОК – промышленные объекты и котельные, использующие газовое топливо;
 КС – компрессорная станция;
 ПГРС – промышленловая газораспределительная станция;
 ГРС – газораспределительная станция;
 ГРП – газорегуляторный пункт городской сети;
 КРП – контрольно-регуляторный пункт;
 ОГ – установка осушки газа;
 ЖФ – выделение жидкой фракции;
 ГП – газгольдерный парк.

- внутридомовые газопроводы, транспортирующие газ внутри здания и распределяющие его по отдельным газовым приборам;
- межпоселковые газопроводы, прокладываемые вне территории населенных пунктов [2].

По принципу построения системы газоснабжения делятся на кольцевые, тупиковые и смешанные. В тупиковых газовых сетях газ поступает потребителю в одном направлении, т.е. потребители имеют одностороннее питание, и могут возникнуть затруднения при ремонтных работах. Недостаток этой схемы – различная величина давлений газа у потребителей. Причем по мере удаления от источника газоснабжения или ГРП давление газа падает. Эти схемы применяют для внутриквартальных и внутридворовых газопроводов [1,2].

Надежность кольцевых сетей выше, чем тупиковых. Кольцевые сети представляют систему замкнутых газопроводов, благодаря чему достигается более равномерный режим давления газа у потребителей и облегчается проведение ремонтных и эксплуатационных работ. Положительным свойством кольцевых сетей является также то, что при выходе из строя какого-либо газорегуляторного пункта нагрузку по снабжению потребителей газом принимают на себя другие ГРП. Смешанная система состоит из кольцевых газопроводов и присоединяемых к ним тупиковых газопроводов. При изучении вопросов трассировки сетей низкого и высокого (среднего) давлений нужно обратить внимание на характер промышленного объекта или застройки города. застройка может быть старой квартальной или новой микрорайонной, имеющей внутренние проезды, что позволяет убрать сеть низкого давления с уличных проездов.

Задача регулирования заключается в снижении давления газа до нужной величины и постоянной поддержке ее независимо от разбора газа потребителями. Эту работу осуществляют регуляторы давления, устанавливаемые в газовых распределительных станциях (ГРС) и регуляторных пунктах. Регулятор давления автоматически проводит пропуск газа через дроссельное отверстие в соответствии с потреблением газа из сети [3].

Оборудование на технологической линии ГРП или ГРУ располагают по ходу движения газа в следующей последовательности: запорное устройство, фильтр, предохранительный запорный клапан, регулятор давления, запорное устройство. Кроме того, ГРП и ГРУ должны иметь предохранительные сбросные устройства. Число технологических линий может быть от одной до пяти. Если в ГРП имеется только одна технологическая линия, то предусматривается обводной газопровод (байпас) с двумя последовательно расположенными запорными устройствами. Байпас во время ремонта оборудования будет обеспечивать подачу газа потребителям.

Принципиальные схемы ГРП представлены на Рис. 2,3,4.

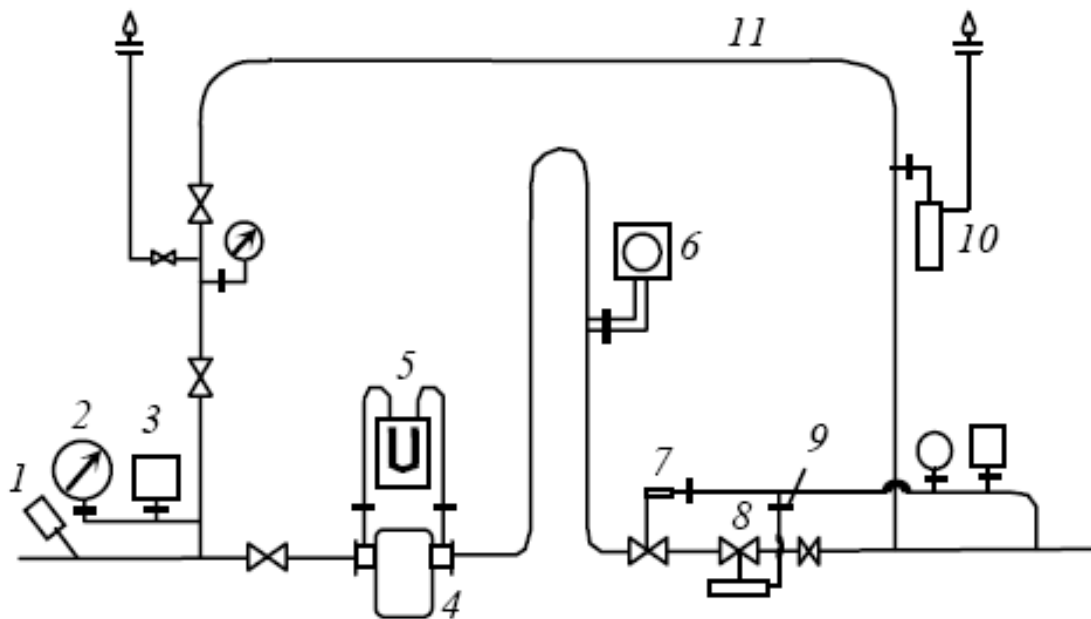


Рис. 2. Принципиальная схема ГРП

1 – термометр; 2 – показывающий манометр; 3 – регистрирующий манометр; 4 – фильтр; 5 – дифференциальный манометр; 6 – узел замера расхода; 7 – предохранительно-запорный клапан; 8 – регулятор давления; 9 – импульсный газопровод выходного давления; 10 – сбросное устройство; 11 – обводной газопровод

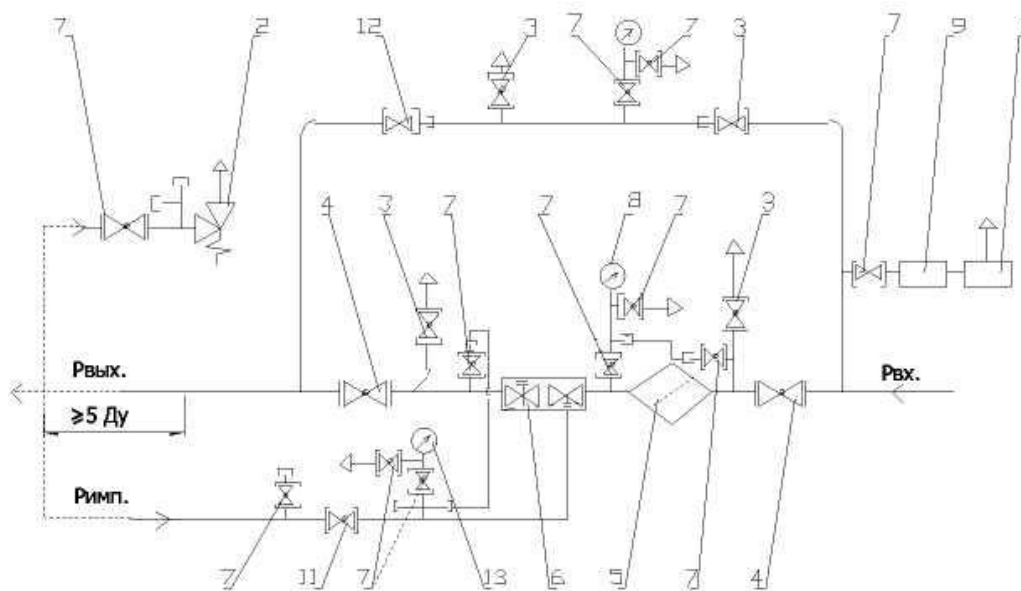


Рис. 3. Функциональная схема ГРП с одной линией редуцирования
 1 - газогорелочное устройство, 2 - предохранительный сбросной клапан,
 3,4,7,11 - запорная арматура, 5 - фильтр, 6 - регулятор давления газа,
 8 - входной манометр, 9 - регулятор давления газа (на отопление),
 12 – запорная арматура с регулируемым приводом,
 13 - выходной манометр.

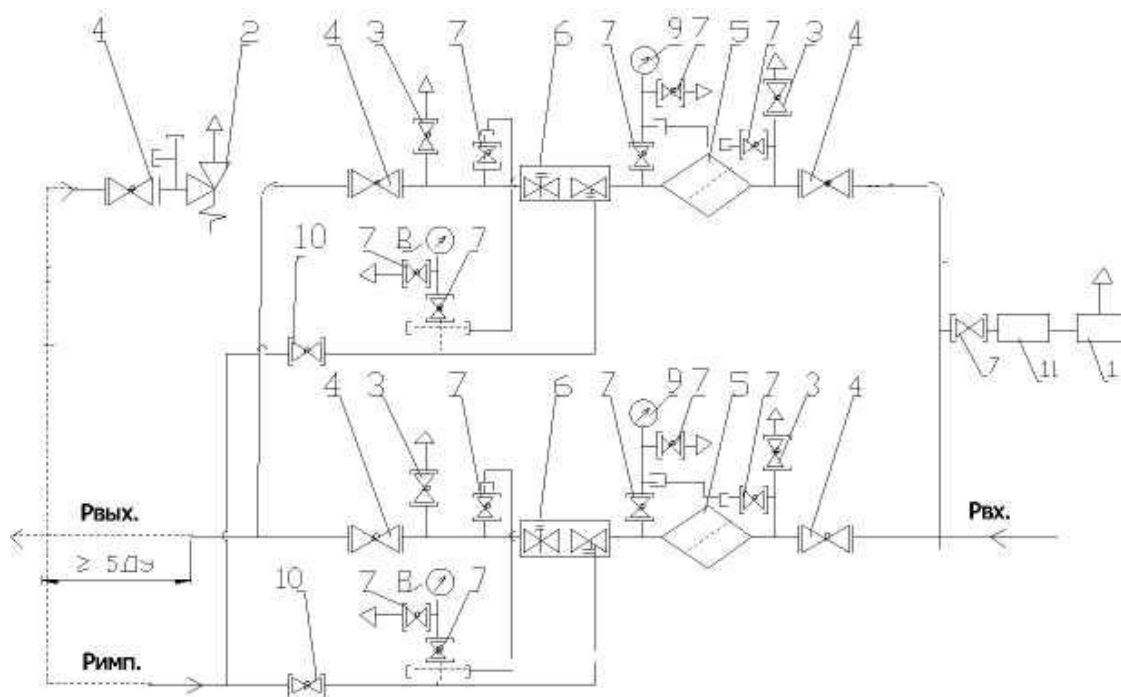


Рис. 4. Функциональная схема ГРП с основной и резервной линиями редуцирования

1 - газогорелочное устройство, 2 - предохранительный сбросной клапан, 3,4, 7,10 - запорная арматура, 5 - фильтр типа ФГ, 6 - регулятор давления газа, 8 - выходной манометр, 9 - входной манометр, 11 – регулятор давления газа (на отопление).

Список использованной литературы

- [1]. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. Л, Издательство «Недра», 1990, 762 с.
- [2]. Уревич А.Л. Краткий справочник работника газового хозяйства. Минск, Издательство «Беларусь», 1978, 303 с.
- [3]. Шур И.А. Газорегуляторные пункты и установки. Москва, Издательство «Недра», 1985, 288 с.

Лосев Тарас Юрьевич - инженер КФ ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина". E-mail: Taraska405@yandex.ru

И.И. Блащишин, С.С. Керимов, Ф.Л. Чубаров

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПНЕВМОПРИВОДА В КАЧЕСТВЕ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Стандартная подвеска автомобиля ВАЗ довольно жесткая и недостаточно высокая для грунтовых дорог плохого качества. Установка более длинных и мягких пружин, улучшают внедорожные качества и плавность хода автомобиля, но необратимо снижают его устойчивость, ухудшая прохождение поворотов. То есть, за счет крена кузова получается, что внешнее колесо относительно центра радиуса поворота перегружено, а внутреннее – недогружено, за счет этого происходит перегрузка шины на одном колесе и так же увеличивается вероятность опрокидывания автомобиля. Однако, укороченные и более жесткие пружины способны улучшить управляемость транспортного средства на хорошем асфальте, но делают автомобиль непрактичным в условиях бездорожья.

Регулируемая подвеска позволяет избежать данных недостатков и получить хорошие динамические качества автомобиля в любых допустимых для его класса дорожных условиях. Существует два типа регулируемых подвесок: гидравлическая подвеска и пневматическая подвеска.

Гидравлическая подвеска обладает следующими достоинствами: лучшей плавностью хода и, соответственно, более высокий уровень комфорта, возможность регулировки дорожного просвета прямо из салона автомобиля. Но при разгерметизации системы неизбежно вытекание масла в рулевой и тормозной систем. Также она не отличается высокой надежностью и довольно дорога в эксплуатации. Этим недостаткам лишена пневматическая подвеска, которую отличают – высокая плавность хода, простота конструкции, надежность и ремонтпригодность. Пневматическая подвеска по своей сути представляет регулируемый, адаптивный пневматический привод, имеющий возможность регулирования дорожного просвета при помощи изменения давления в пневмоподушках [1].

Существует множество мнений о необходимости установки пневмооборудования на рядовой отечественный или иностранный автомобиль, но мы можем выделить несколько основных преимуществ его перед автомобилем, оснащенный штатной подвеской.

Пневмоподвеска позволяет устанавливать клиренс в весьма широком диапазоне, меняя высоту автомобиля и его жесткость в зависимости от загрузки и от состояния дорожного покрытия.

Были рассмотрены варианты двухконтурной и четырехконтурной пневматических систем, но двухконтурная система не позволяет в широком диапазоне точно настраивать клиренс автомобиля, поэтому выбран вариант четырех контурной системы. Схема четырех контурной системы представлена на рис.1.

Структура регулируемой пневмоподвески (ESS)

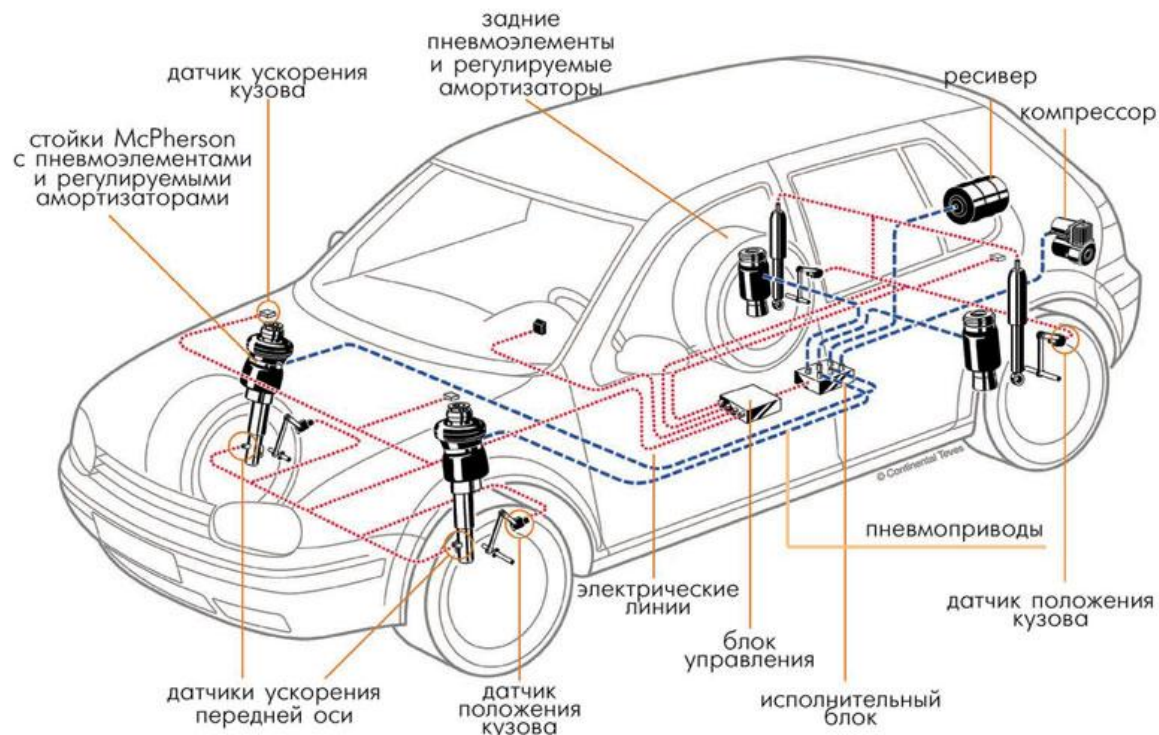


Рис.1. Четырех контурная система регулируемой пневмоподвески

Вместо пружин были установлены пневмоподушки. Рассматривался вариант регулировки высоты по давлению, но он оказался не эффективен в связи с тем, что при большой загруженности автомобиля давление изменяется не пропорционально в зависимости от высоты кузова относительно дороги. Для управления воздушным потоком в багажник установлен пневмораспределитель с 8 клапанами и электромагнитным управлением: 4 клапана осуществляют подачу воздуха в подушки от ресивера и 4 клапана для сброса воздуха (для каждой подушки соответственно). На рычагах подвески были установлены датчики высоты потенциометрического типа. Ресивер и компрессор установлены в багажнике. В связи с простотой монтажа и относительно невысокой ценой был использован автомобильный компрессор с электрическим приводом от сети автомобиля. Однако, у него есть недостаток – быстрый износ поршневых колец при длительной работе [2]. Данная проблема актуальна и решается на данный момент.

Управляет системой микроконтроллер ATMEGA16. Это простой и дешевый контроллер, который подходит для решения данных задач. Управление клапанами осуществляется через силовые ключи на IGBT транзисторах, чтобы обратный ток транзистора не сжег порт контроллера была установлена опторазвязка PC817 для каждого ключа соответственно. Аналоговый цифровой преобразователь (АЦП) снимает показав-

ния с датчиков высоты и определяет нужно ли поднимать или опускать давление в соответствующем контуре. Так же к контроллеру подключен датчик давления. Снимая с него показания, контроллер подает управляющий сигнал на компрессор. В случае превышения давления срабатывают клапана сброса. Перерегулирование подвески происходит в момент закрытия одной из дверей (к контроллеру подключен датчик концевого типа). Тем самым клиренс и жесткость остаются постоянным при любой загруженности машины. Так же возможно несколько режимов работы подвески. Первый режим – стандартная высота подвески. Второй режим - более низкий, для трассы. Третий режим – для прохождения препятствий, высота подвески максимальна. Смена режима осуществляется при остановке по нажатию кнопки [3]. На данный момент автомобиль проходит сертификацию.

Список литературы.

[1]. Газарян А.А. Техническое обслуживание автомобилей. - М.: «Третий Рим», 2000.- 275с.

[2]. Косарев С.Н., Яметов В.А., Волгин С.Н., Козлов П.Л. - Руководство по техническому обслуживанию, эксплуатации и ремонту ВАЗ-2108, ВАЗ-2109, ВАЗ-21099 все модификации. - М.: Астрель-АСТ, 2005. - 402 с.

[3]. Косенков А. А. Устройство автомобилей ходовая часть и прочие системы. - Ростов-на-Дону: «Феникс», 2005. - 212 с.

[4]. Передерий В.П. Устройство с. автомобиля. - М.: Форум, 2008. - 288 с.

Блащишин Илья Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ilyablashischin@yandex.ru

Керимов Святослав Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ic-kaluga@mail.ru

Чубаров Федор Леонидович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

А.Н. Маклачков, В.В. Коротков

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СУДОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Движителями называются специальные устройства, преобразующие механическую работу судовой силовой установки в упорное давление, преодолевающее сопротивление и создающее поступательное движение судна.[1]

Судоходство на Земле существует уже несколько тысячелетий. Первыми движителями, которые использовались на плотках и подобных им простейших плавсредствах, были *шест и весло*. Скорость весельных судов была около 5 уз.

Другим древним движителем был *парус*, иногда в комбинации с веслами. Парусные суда оказались более совершенными, они использовали энергию внешней среды – воздуха. Наивысшего расцвета парусные суда достигли примерно в конце XIX в., их скорость при благоприятном ветре достигала 20 уз. Но появление и развитие механических установок на судах привело к постепенному переходу от парусных судов к пароходам.[2]

В глубокой древности, еще до нашей эры, было изобретено *гребное колесо*, которое приводилось во вращение животными (быками). Но колесные суда были вытеснены парусными. На новом уровне гребные колеса возродились в самом начале XIX в.[3]

Наиболее распространенный, эффективный и сравнительно простой движитель – *гребной винт*. Идея судового гребного винта в виде шнека, подобно применявшемуся в древности винту Архимеда (для перекачки жидкостей), впервые возникла у Леонардо да Винчи в XV в., но в ту пору она не нашла применения. В 1752 г. винт в виде двухзаходного червяка предложил Д. Бернулли, но КПД такого движителя оказался невелик. С тех пор было предложено множество усовершенствований винтов. Менялись их размеры, формы контура и сечений лопастей и другие характеристики. На сегодняшний день КПД судовых движителей лежит вблизи 60 %, а у некоторых судов бывает заметно меньше.

В середине XVII в. появился первый **водомерный движитель**, который представлял собой систему водопроточных каналов расположенных внутри корпуса судна, по которым перемещается забортная вода с помощью специального насоса. Грубо ориентировочно, КПД обычного водомерного движителя может составлять примерно 30 %. Долгое время водомерные движители мало применялись на судах. Но примерно с середины XX в. их популярность стала возрастать. Было показано, что КПД водомерного движителя на быстроходных судах может достигать 60 % и более, тогда как у обычных гребных винтов в этих условиях он может снижаться из-за кавитации.[4]

Новые, иногда довольно экзотические конструкции судовых движителей продолжают появляться до сих пор. Среди наиболее известных можно назвать *магнитогидродинамический (МГД) движитель*, имеющий канал, окруженный магнитной обмоткой, по которой течет постоянный ток. Как известно из физики, катушка с током выталкивает расположенный внутри нее проводник, каким является морская вода. Реакция отбрасываемой струи движет судно вперед. КПД испытанных моделей МГД-двигателей не достигает 10 %. К преимуществам таких движителей можно отнести прямое преобразование электроэнергии в движение, отсутствие движущихся частей, малую шумность.

В начале XX в. появились *башенные движители* («роторы Флеттнера») в виде цилиндрических башен с вертикальной осью вращения, которые приводились во вращение маломощными двигателями, установленными под верхней палубой. Эти движители эффективнее парусов (мощность двигателя в десятки раз меньше мощности, «извлекаемой из воздуха»), но не могут убираться, чем представляют опасность при сильном ветре.

Известный советский кораблестроитель профессор В.Г. Павленко предложил устанавливать по бортам судна специальные плавники, получившие название «плавники Павленко». При плавании на волнении плавники, изгибаясь от давления воды, создают дополнительный упор, увеличивая скорость судна.

Предлагалось и множество других конструкций, некоторые из них были осуществлены практически, преимущественно на небольших судах и в единичных экземплярах, другие же существовали только на бумаге.

Список использованной литературы:

[1]. К.Н. Чайников – Общее устройство судов – Л: «СУДОСТРОЕНИЕ» 1971.

[2]. Судовые движители: учеб. пособие / С.В. Антоненко – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007.

[3]. Энциклопедия Кольера – Судовые энергетические установки и движители.

[4]. Феликс Кацман, Дмитрий Дорогостайский - Л: «СУДОСТРОЕНИЕ» 1979.

[5]. http://korabley.net/news/dvizhiteli_korablej_i_sudov/2010-04-06-527

[6]. <http://fiz.1september.ru/article.php?ID=200600103>

[7]. <http://innovatory.narod.ru/arsentev2.html>

Маклачков Андрей Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maklachckov.andrei@yandex.ru

Коротков Виталий Владимирович – канд. техн. наук, зав. каф. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

И.И.Блащишин, Ф.Л.Чубаров

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОПНЕВМОПРИВОДОВ В РОБОТОТЕХНИКЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время одной из самых перспективных и быстроразвивающихся отраслей науки считается направление робототехники. Этот раздел науки применим во многих сферах деятельности человека, а всевозможные роботы и автоматизированные комплексы могут решать сложные наукоемкие задачи, помогать человечеству идти по пути эволюции и развития, а также открывать всё новые аспекты окружающего нас мира. К сожалению, в нашей стране ощущается довольно большое отставание в робототехнической промышленности, поэтому развитие данного направления актуально на сегодняшний день.

Представленная диаграмма иллюстрирует то, как быстро робототехнические устройства внедрились в нашу жизнь и производственный процесс.



Рис. 1.

Максимальные темпы роста количества роботизированных производств приходятся на последние 15 лет, а если взглянуть на прогнозы ученых относительно этих цифр, то можно заметить, что эти темпы будут расти все больше. Но промышленность - лишь одна сфера деятельности человека, где стали использоваться роботы. В последнее время набор направлений жизнедеятельности человека, куда стремительно внедрились роботы, все пополняется. Роботы решают невероятно сложные уравнения, летают в космос, исследуют водные глубины и даже играют в пинг-понг. Рассмотрим перспективы развития робототехники.

Робототехника является очень дифференцированной наукой и включает в себя многие разделы других наук: гидропневмоавтоматику, используемую при изобретении приводов, сопротивление материалов и обработку материалов, которые применяются при изготовлении самой конструкции

робота и его двигателя, электротехнику и IT технологии, применяемые при разработке программного обеспечения(ПО) робота, и многие другие, вплоть до биоинженерии .

Существует множество типов приводов у разных роботов, но в основном выделяют только 3 основных, которые преимущественно используются в роботостроении. К ним относятся: гидроприводы, пневмоприводы и электроприводы, остальные разновидности практически не применяются в данной отрасли, потому что являются малопроизводительными, имеют слишком большую массу и габариты или работают крайне медленно.

Выбор типа привода зависит от функционального назначения робота. Основными факторами, определяющими выбор типа привода, являются: назначение и условия эксплуатации, грузоподъемность и требуемые динамические характеристики конструкции, а также вид системы управления.

К приводу любого вида предъявляют общие требования:

- минимальные габаритные размеры при высоких энергетических показателях, обеспечивающие большое значение отношения выходной мощности к массе;
- возможность работы в режиме автоматического управления и регулирования, обеспечивающем оптимальные законы разгона и торможения при минимальном времени переходных процессов;
- быстроедействие, т.е. осуществление движений исполнительных механизмов с высокими скоростями и малой погрешностью позиционирования;
- малая масса элементов привода при высоком КПД всей конструкции;
- надежность и долговечность элементов конструкции;
- удобство монтажа, ремонта, обслуживания, переналадки и бесшумность работы.



Рис.2.

На данной диаграмме видно, что подавляющее большинство составляют именно электро и пневмо приводы, однако все из представленных приводов имеют свои недостатки и преимущества. Так, пневмопривод имеет значительно меньшую погрешность позиционирования, достаточно

большой КПД, обладает очень простой конструкцией и невероятной надежностью, а также удобством сборки, дешевизной и способен развивать довольно высокую линейную скорость. Но в некоторых аспектах данный вид приводов проигрывает гидроприводу или электроприводу, именно поэтому каждый вид двигателей применяется в той сфере, где его преимущества приносят наибольшую пользу [1].

Так, например, гидравлический привод может развивать довольно большую скорость линейного перемещения и при этом имеет прекрасную регулировочную способность, а также довольно мал по массе, имея при этом сравнительно большой КПД. Поэтому его чаще всего применяют в роботах с позиционным и контурным режимом работы и в легких работоспособных роботах.

В последнее время все чаще стали применяться на практике комбинированные виды двигателей у роботов (как правило, гидроэлектроприводы или пневмогидроприводы). Это позволяет скомпенсировать некоторые недостатки входящих в них приводов. Так, например, комбинированный пневмогидравлический привод модуля движения "руки" робота, обеспечивая функционирование модуля на основе дешевого пневмопривода, позволяет в то же время осуществлять коррекцию скорости выходного исполнительного звена и его конечного положения с помощью параллельно подключенного гидроцилиндра. Таким образом, привод приобретает признаки следящего.

Широкое применение в робототехнике находят комбинированные электрогидравлические приводы, в которых последовательно соединены электрический и выходной гидравлический приводы. Электропривод небольшой мощности преобразует управляющий электрический сигнал в перемещение. Оно служит входным воздействием для гидроусилителя гидравлического привода, непосредственно обеспечивающего соответствующие рабочие движения исполнительных органов робота.

Для манипулирования миниатюрными изделиями используется своеобразный вид привода - вибрационный, основанный на применении высокочастотных пьезоэлектрических двигателей. Действие таких вибродвигателей основано на преобразовании высокочастотных многокомпонентных упругих колебаний твердых и гибких тел во вращательное или поступательное движение исполнительного звена. В таких случаях используются упругие колебания в виде стоячих или бегущих волн с высокой частотой преобразуемых колебаний в ультразвуковом диапазоне (от 20 кГц до 5 МГц и более) и весьма малой амплитудой - от 0,1 100 мкм. [2].

В современной робототехнике не предвидится коренных изменений в двигателях как таковых. Однако, отдельные характеристики тех или иных видов приводов, в зависимости от типа работ, которые должен будет выполнять робот, непременно изменятся. Наибольший интерес в робототехнике представляют роботы-андроиды, обладающие разумом и умеющие учиться всему новому. Такие роботы, кроме мощного "мозга", должны обладать легким, надежным, мощным двигателем с большим количеством степеней свободы и очень малым временем срабатывания. Здесь уже нужны композиты и другие соединения для прочности и одновременной легкости, сложные демпфирую-

щие механизмы для перемещения по множеству промежуточных положений. Но для того, чтобы сократить время срабатывания до минимума, нужно постоянно менять давление в системе, так как привод скорее всего будет именно пневматический или комбинированный.

Большинство всех производимых роботов программируемые и имеют искусственный интеллект. Эта особенность диктуется потребностями рынка роботов. От них теперь требуется выполнять не только тяжелую и опасную для человека работу. Множество задач требуют от робота знаний в какой либо отрасли, умений быстро оценить и среагировать на ту или иную ситуацию и способности быстро получать новые навыки и использовать их в дальнейшем, нарабатывая, таким образом, опыт [3].

Именно поэтому ПО роботов сейчас уделяется максимальное внимание, различные фирмы - производители улучшают алгоритмы работы робота и используют интеллектуальные и адаптивные системы управления.

Основная задача робототехники - начать активнее использовать роботов в повседневной жизни и учебном процессе и абсолютно в любой работе. Однако, для каждой задачи нужен свой робот, а значит первостепенную важность для робототехники имеет задача создания андроидов, способных выполнять множество функций, не теряя в качестве выполненной работы. Эта задача сложна, ведь робот должен обладать огромным количеством знаний, быть прочным, уметь моментально подстроиться под ситуацию, иметь асинхронные мощные и легкие двигатели и насчитывать множество насадок и приспособлений, сменяющихся автоматически, а самое главное, он должен сам управлять всеми процессами происходящими в его организме, не противореча стандартам ПО. Ее решение приведет к почти безграничным возможностям, которые откроются для человечества.

Список литературы:

[1]. Булгаков А.Г., Воробьев В.А. *Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление.* - М.: "Солон-пресс", 2007. - 488с.

[2]. Василенко Н.В., Никитин К.Д., Пономарёв В.П., Смолин А.Ю. *Основы робототехники.* - ТОМСК МГП.: "РАСКО", 1993. - 302с.

[3]. Предко М. *123 эксперимента по робототехнике* ; пер. с англ. Попова В.П. - М.: "НТ Пресс", 2007. - 544 с.

Блащишин Илья Игоревич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: ilyablashischin@yandex.ru

Чубаров Федор Леонидович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

Т. Ю. Лосев

СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОВОГО КЛАПАНА ОСЕВОГО ПОТОКА

Филиал ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина" г.Калуга

Основной задачей современных систем газоснабжения является обеспечение бесперебойной подачи газа потребителям. Эта задача регулирования заключается в снижении давления газа до нужной величины и постоянной поддержке ее независимо от разбора газа потребителями [1]. Эту работу осуществляют регуляторы давления (иначе их называют блоки редуцирования), устанавливаемые в газораспределительных пунктах. Регулятор давления автоматически проводит пропуск газа через дроссельное отверстие в соответствии с потреблением газа из сети [1,2]. Пример типовой схемы линии редуцирования с блоком редуцирования представлен на Рис. 1.

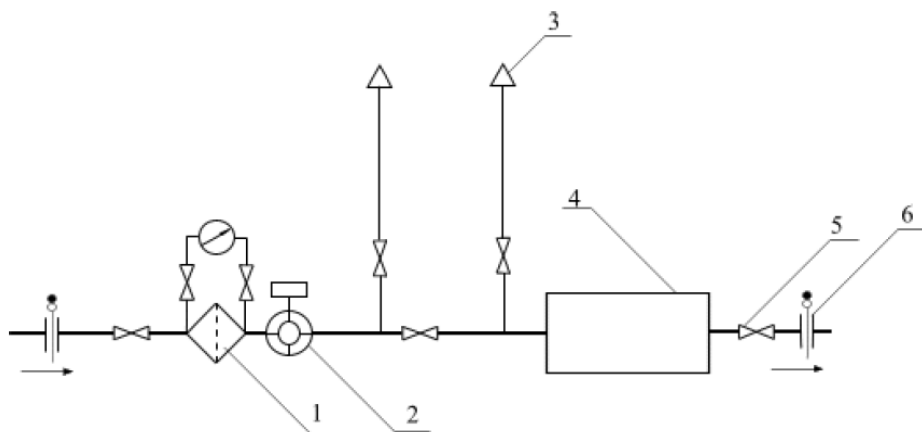


Рис. 1. Схема однониточной линии редуцирования
1 – узел очистки газа; 2 – узел учета расхода газа; 3 – продувочный трубопровод; 4 – блок редуцирования; 5 – арматура запорная; 6 – заглушка поворотная

Газовый клапан осевого потока – основной элемент некоторых типов блоков редуцирования. В открытом доступе информации об использовании таких клапанов в системах редуцирования крайне мало. Поэтому опишем сначала принцип работы газового клапана осевого потока.

Принцип работы наглядно представлен на Рис. 2 и Рис. 3. Он заключается в поддержании постоянным давления газа на выходе. Опишем этот принцип, рассмотрев его с двух сторон:

1) При уменьшении выходного давления по чувствительной линии (5) оно подается на мембрану пилот-регулятора (1), которая опускается и, тем самым, увеличивает проходное сечение между линиями (2) и (3).

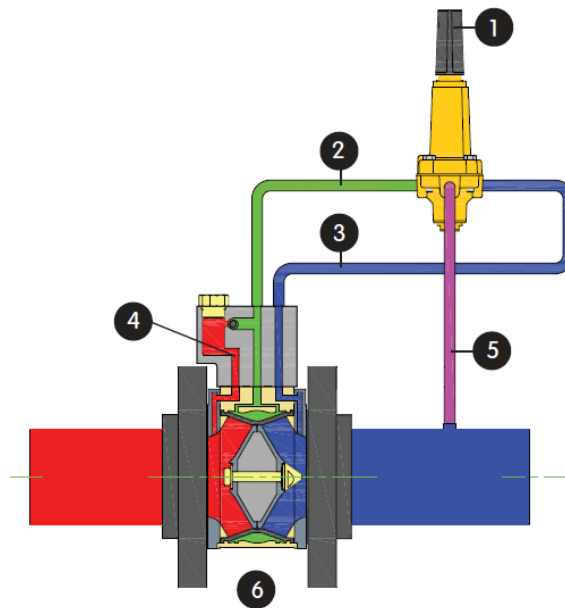


Рис. 2. Принципиальная схема блока редуцирования

За счет увеличения этой площади давление P_3 в спускной линии (3) начинает расти, а давление P_2 (давление управления) в линии управления (2) уменьшается. Т.к. давление входа ($P_4 = P_{вх}$) не меняется за это время, то возникает увеличение разности давлений $P_4 - P_2$ на мембране клапана (6) и подмембранная камера начинает сужаться, увеличивая тем самым площадь проходного сечения основного потока через клапан. Это приводит к выравниванию выходного давления и работа системы нормализуется.

2) При увеличении выходного давления по чувствительной линии (5) оно подается на мембрану пилот-регулятора (1), которая поднимается и, тем самым, уменьшает проходное сечение между линиями (2) и (3). За счет уменьшения этой площади давление P_3 в спускной линии (3) начинает падать, а давление P_2 (давление управления) в линии управления (2) растет. Т.к. давление входа ($P_4 = P_{вх}$) не меняется за это время, то возникает уменьшение разности давлений $P_4 - P_2$ на мембране клапана (6) и подмембранная камера начинает расширяться, уменьшая тем самым площадь проходного сечения основного потока через клапан. Это приводит к выравниванию выходного давления и работа системы нормализуется.

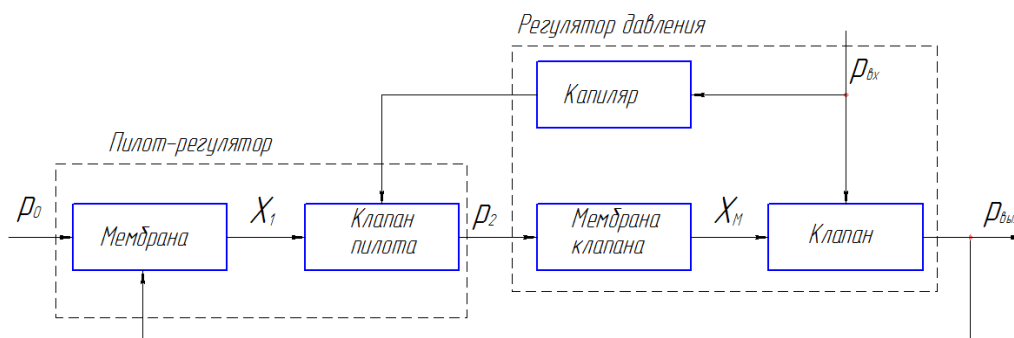


Рис. 3. Функциональная схема блока редуцирования

Математическая модель газового клапана осевого потока

Составление математической модели проведем, используя стандартные методики и общепринятые формулы [3,4].

Уравнение мембраны пилота:

$$\Delta P_{\text{вых}} \cdot F_{\text{мп}} = c_{\text{мп}} \cdot \Delta X_n, \quad (1)$$

X_n - перемещение мембраны пилота; $F_{\text{мп}}$ - площадь мембраны пилота, на которую действует давление выхода; $c_{\text{мп}}$ - жесткость мембраны пилота; $\Delta P_{\text{вых}}$ - изменение выходного давления.

Введем передаточный коэффициент мембраны $K_{\text{Мп}} = \frac{c_{\text{мп}}}{F_{\text{мп}}}$. Тогда передаточная функция будет выглядеть следующим образом:

$$W_{\text{Мп}}(S) = K_{\text{Мп}} \quad (2)$$

Уравнение расхода пилота:

$$Q_n = K_{\text{сж1}} \cdot \frac{dP}{dt} = K_{\text{Qхмп}} \cdot X_{\text{мп}} - K_{\text{Qр2}} \cdot P_2, \quad (3)$$

Q_n - расход через пилот; P_2 - давление в линии управления; $K_{\text{сж1}}$ - коэффициент сжимаемости газа при P_2 ; $X_{\text{мп}}$ - перемещение мембраны клапана; $K_{\text{Qхмп}}, K_{\text{Qр2}}$ - коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики клапана.

Преобразуем уравнение (3):

$$\begin{aligned} K_{\text{Qхмп}} \cdot X_{\text{мп}} &= K_{\text{сж1}} \cdot S + K_{\text{Qр2}} \\ \frac{K_{\text{Qхмп}}}{K_{\text{Qр2}}} &= \frac{K_{\text{сж1}}}{K_{\text{Qр2}}} \cdot S + 1; \end{aligned} \quad (4)$$

Введем передаточный коэффициент $K_n = \frac{K_{\text{Qхмп}}}{K_{\text{Qр2}}}$ и постоянную времени регулятора управления $T_n = \frac{K_{\text{сж1}}}{K_{\text{Qр2}}}$.

Передаточная функция регулятора управления будет выглядеть следующим образом:

$$W_n(S) = \frac{X(S)}{Y(S)} = \frac{K_n}{T_n S + 1}. \quad (5)$$

Уравнение мембраны клапана:

$$\Delta P_2 \cdot F_{\text{МК}} = c_{\text{МК}} \cdot \Delta X_{\text{кл}}, \quad (6)$$

$X_{\text{кл}}$ - перемещение мембраны клапана; $F_{\text{МК}}$ - площадь мембраны пилота, на которую действует давление; $c_{\text{МК}}$ - жесткость мембраны пилота.

Введем передаточный коэффициент мембраны $K_{МК} = \frac{C_{МК}}{F_{МК}}$. Тогда передаточная функция будет выглядеть следующим образом:

$$W_{МК}(S) = K_{МК} \quad (7)$$

Уравнение расхода клапана:

$$Q_{кл} = K_{сж2} \cdot \frac{dP}{dt} = K_{QxМК} \cdot X_{МК} - K_{Qрвх} \cdot P_{вх}, \quad (8)$$

$Q_{кл}$ - расход через клапан; $K_{сж2}$ - коэффициент сжимаемости газа при $P_{вх}$; $X_{МК}$ - перемещение мембраны клапана; $K_{QxМК}$, $K_{Qрвх}$ - коэффициенты линеаризации расходно-перепадной характеристики клапана.

Преобразуем уравнение (8):

$$\begin{aligned} K_{QxМК} \cdot X_{МК} &= K_{сж2} \cdot S + K_{Qрвх} \\ \frac{K_{QxМК}}{K_{Qрвх}} &= \frac{K_{сж2}}{K_{Qрвх}} \cdot S + 1; \end{aligned} \quad (9)$$

Введем передаточный коэффициент $K_{кл} = \frac{K_{QxМК}}{K_{Qрвх}}$ и постоянную времени регулятора управления $T_{кл} = \frac{K_{сж2}}{K_{Qрвх}}$.

Тогда передаточная функция регулятора управления будет выглядеть следующим образом:

$$W_{кл}(S) = \frac{X(S)}{Y(S)} = \frac{K_{кл}}{T_{кл}S + 1}. \quad (10)$$

Уравнение капилляра:

$$P_2 = P_{вх} \cdot K_{кан}, \quad (11)$$

$K_{кан}$ - коэффициент пропускания через капилляр.

Преобразуем уравнение (11):

$$\frac{P_2}{P_{вх}} = K_{кан} \quad (12)$$

Тогда передаточная функция будет выглядеть следующим образом:

$$W(S) = K_{кан} \quad (13)$$

Подставив в функциональную схему соответствующие передаточные функции получим структурную схему исследуемой системы, изображенную на Рис. 4.

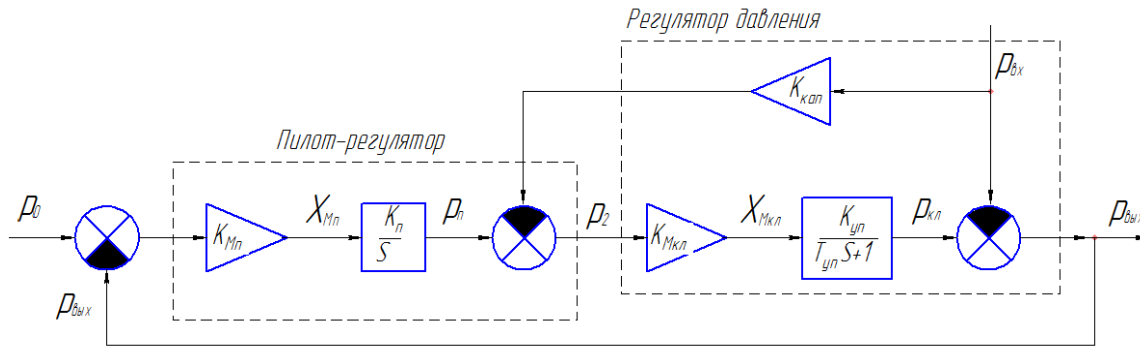


Рис. 4. Структурная схема газового клапана осевого потока

Список использованной литературы

- [1]. Соколов В.А. Справочник по газовому делу. Том 2. Москва, Издательство «Гостоптехиздат», 1940, 424 с.
- [2]. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. Л, Издательство «Недра», 1990, 762 с.
- [3]. Борисов С.Н., Даточный В.В. Гидравлические расчеты газопроводов. Москва, Издательство «Недра», 1972, 108 с.
- [4]. Самарский А.А., А.П. Михайлов. Математическое моделирование. Москва, Издательство «Физматлит», 2002, 320 с.

Лосев Тарас Юрьевич - инженер КФ ФГУП "НПО им. С.А. Лавочкина". E-mail: Taraska405@yandex.ru

В.А. Минеев, В.В. Коротков

УПЛОТНЕНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Уплотнения в насосе предназначены для предотвращения утечек жидкости или проникновения воздуха в полости всасывания насоса, уменьшения утечек жидкости в зазорах между рабочим колесом и корпусом, отводом или направляющим аппаратом насоса и предотвращения утечек жидкости в месте уплотнения вала.

Уплотнения являются ответственными элементами в конструкции насосов, в большой степени определяют надежность насоса и существенно влияют на его экономичность. Уплотнения разделяются на следующие категории:

Одинарное сальниковое уплотнение. Является наиболее простым и распространенным типом уплотнения, состоящим из колец квадратного сечения без какой-либо пропитки либо пропитанных маслом, графитом и т.п. При эксплуатации эти сальники имеют обязательную утечку, играющую роль охлаждения и промывки сальника.

Двойное сальниковое уплотнение. В отличие от одинарного, состоит из двух пакетов колец разделенных фонарным кольцом из соответствующего проточной части материала. Такое устройство позволяет производить промывку и охлаждение сальника, а также подвод затворной жидкости от внешнего источника, что препятствует утечке наружу перекачиваемой жидкости.

Одинарное торцовое уплотнение. Применяется при перекачивании таких жидкостей, утечка которых в больших количествах во внешнюю среду недопустима. Это касается агрессивных, горячих, охлажденных, легкокипящих, органических и неорганических жидкостей. Этот тип уплотнения требует высшей точности изготовления, в том числе шлифовки и протирки торцевых трущихся уплотняющих поверхностей из силицированного графита или керамики. Внешняя утечка при этом уплотнении минимальна.

Двойное торцовое уплотнение. Отличается от одинарного тем, что состоит из двух притертых уплотняющих поверхностей и специального подвода затворной жидкости на проток исключая попадание перекачиваемой жидкости во внешнюю среду. Применяется в основном для перекачивания химически активных, взрывоопасных и легковоспламеняющихся жидкостей.

Манжетное уплотнение. Представляет собой пакет фигурных колец из резины, фторопласта, пластмассы и т. п. материала. Форма манжет самая разнообразная. Они могут иметь и специальные подманжетные кольца, чаще всего из металла. В зависимости от материала манжеты могут применяться сухими или смазанными, либо пропитанными различными смазками, чтобы снизить износ и трение и повысить срок службы.

Щелевые уплотнения. В них контакт между уплотняемыми цилиндрическими поверхностями отсутствует. Щелевое уплотнение представляет собой гладкую щель между двумя цилиндрическими поверхностями, но может иметь и более сложную форму лабиринта. Этот тип уплотнения применяется в погружных насосах, когда важнее обеспечить меньший износ и продолжительный срок работы насоса даже ценой большей утечки из-за сложности монтажа-демонтажа насоса для ремонта.

Конструкция, тип, вид, конкретного решения как уплотнения, так и всего узла зависят от типа насоса, условий и требований к его установке и эксплуатации. Во всех случаях необходимо обеспечивать герметичность утечку в допустимых пределах, а также простоту и легкость монтажа и демонтажа уплотнения.

Список используемой литературы

- [1]. Орлов П.И. Основы конструирования. В 3-х книгах. М., Машиностроение, 1977
- [2]. http://www.agrovodcom.ru/zz_seal_pump.html
- [3]. <http://www.drillings.ru/konsnasos?object=0&razdel=1>

Минеев Виктор Александрович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Neskwii@yandex.ru

Коротков Виталий Владимирович – канд. техн. наук, зав. каф. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

В.В. Пашенко, О.И. Зиновьева

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАВЛЕНИЕ/СКОРОСТЬ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОМ ТЕЧЕНИИ ГАЗА В СОПЛЕ ЛАВАЛЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. Сопло Лавалья - газовый канал особого профиля, разгоняющий проходящий по нему газовый поток до сверхзвуковых скоростей. Широко используется на некоторых типах паровых турбин и является важной частью современных ракетных двигателей и сверхзвуковых реактивных авиационных двигателей.



Рис. 1. Сопло Лавалья

Сопло представляет собой канал, суженный в середине (рис. 1). В простейшем случае такое сопло может состоять из пары усечённых конусов, сопряжённых узкими концами. Эффективные сопла современных ракетных двигателей профилируются на основании газодинамических расчётов.

Сопло было предложено в 1890 г. шведским изобретателем Густафом де Лавалем для паровых турбин.

Феномен ускорения газа до сверхзвуковых скоростей в сопле Лавалья был обнаружен в конце XIX в. экспериментальным путём. Позже это явление нашло теоретическое объяснение в рамках газовой динамики.

При анализе течения газа в сопле Лавалья принимаются следующие допущения:

Газ считается идеальным.

Газовый поток является изоэнтропным (то есть имеет постоянную энтропию, силы трения и диссипативные потери не учитываются) и адиабатическим (то есть теплота не подводится и не отводится).

Газовое течение является стационарным и одномерным, то есть в любой фиксированной точке сопла все параметры потока постоянны во времени и меняются только вдоль оси сопла, причём во всех точках выбранного поперечного сечения параметры потока одинаковы, а вектор скорости газа всюду параллелен оси симметрии сопла.

Массовый расход газа одинаков во всех поперечных сечениях потока.

Влияние всех внешних сил и полей (в том числе гравитационного) пренебрежимо мало.

Ось симметрии сопла является пространственной координатой x .

Число Маха - один из критериев подобия в механике жидкости и газа. Представляет собой отношение скорости течения в данной точке газового потока к местной скорости распространения звука в движущейся среде. Принимается зависимым от координаты x :

$$M = \frac{V}{c}$$

Работа сопла основана на различных свойствах газового потока на дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Скорость дозвукового потока будет увеличиваться по мере сужения канала, так как массовый расход является постоянным. Поток газа в сопле Лаваля является изоэнтропным (энтропия газа примерно постоянна) [1]. На дозвуковых скоростях газовый поток является сжимаемым; звук (волна малого давления), будет распространяться через такой поток. Вблизи «горлышка» сопла, где площадь сечения наименьшая, локальная скорость газа становится звуковой (число Маха $M = 1$). Как только площадь сечения сопла начинает увеличиваться, газ продолжает расширяться и газовый поток ускоряется до сверхзвуковых скоростей, где звуковая волна не проходит в обратную сторону через газ ($M > 1$).

Сопло Лаваля будет действовать лишь в том случае, если массовый расход через сопло достаточен, в противном случае сверхзвуковая скорость достигнута не будет. К тому же, давление газа на выходе из расширяющейся части сопла не должно быть слишком малым. Так как давление не может передаваться против сверхзвукового течения, выходное давление может быть значительно ниже давления окружающей среды, в которую истекает газ, но, если оно слишком мало, тогда поток перестанет быть сверхзвуковым, либо поток будет разделяться в расширяющейся части сопла, образуя нестабильный поток, который может «хлопать» в сопле, и вызвать его повреждения. На практике, давление окружающей среды должно быть не более, чем в 2,7 раза выше давления в сверхзвуковом газе, при этом условии сверхзвуковой поток сможет покинуть сопло [2, 3].

Таким образом, во время движения газа можно выделить три этапа:

- При дозвуковой скорости движения газа ($M < 1$) сопло сужается;
- При движении газа со скоростью звука ($M = 1$) площадь поперечного сечения достигает экстремума, а именно минимума, т.е. имеет место самое узкое сечение сопла, называемое критическим.
- При сверхзвуковой скорости движения газа ($M > 1$) сопло расширяется.

Итак, на сужающемся, докритическом участке сопла движение газа происходит с дозвуковыми скоростями. В самом узком, критическом сечении сопла локальная скорость газа достигает звуковой. На расширяющемся, закритическом участке, газовый поток движется со сверхзвуковыми скоростями.

Перемещаясь по соплу, газ расширяется, его температура и давление падают, а скорость возрастает. Внутренняя энергия газа преобразуется в кинетическую энергию его направленного движения. КПД этого преобразования в некоторых случаях (например, в соплах современных ракетных двигателей) может превышать 70 %, что значительно превосходит КПД реальных тепловых двигателей всех других типов. Это объясняется тем, что рабочее тело не передаёт механическую энергию никакому посреднику (поршню или лопастям турбины). В других тепловых двигателях на этой передаче имеют место значительные потери. Кроме того, газ, проходя через сопло на значительной скорости, не успевает передать его стенкам заметное количество своей тепловой энергии, что позволяет считать процесс адиабатическим. У реальных тепловых двигателей других типов нагрев конструкции составляет существенную часть потерь.

В настоящее время для решения прикладных задач широко используются универсальные коммерческие пакеты программ вычислительной гидродинамики, такие как [4, 5] FLUENT, CFX, StarCD и др. Они являются средством не только инженерных разработок, но и ряда научных исследований. С научной точки зрения интерес представляет применение вычислительных методов для решения модельных задач, для которых существует экспериментальная база и аналитические решения. Это позволяет не только тестировать новые численные схемы и алгоритмы, но и изучить основные гидродинамические эффекты и закономерности. Целью данной работы было тестирование численных методов решения задач газодинамики, исследование скорости сходимости подобных методов на примере моделирования сверхзвукового течения газа в сопле Лавала.

Моделирование. Рассматривается задача течения идеального невязкого газа в сопле Лавала с адиабатическими стенками в двумерной постановке.

Численное моделирование выполнено на основе ламинарной модели течения газа с включением уравнения баланса энергии. Поскольку решатель на основе давления больше подходит (и более точен) для задач дозвукового распространения несжимаемых потоков, то использовался решатель на основе плотностей, хорошо подходящий для исследования задач сверхзвуковых потоков. Для потока использовалась дискретизация второго порядка.

Ввиду полной симметрии геометрии объекта рассматривалась только одна, верхняя половина (учитывалось граничное условие симметрии). Геометрия сопла представлена на рис. 2.

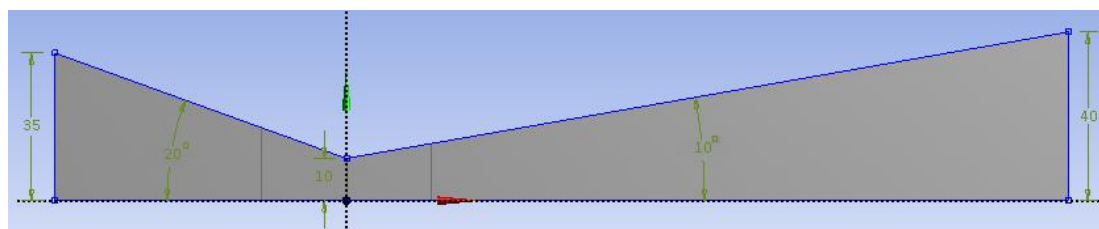


Рис. 2. Геометрия сопла (верхняя половина)

На рис. 3. представлена область с сеткой, на которой производился расчёт. В месте сужения сопла, в наименьшем поперечном сечении, производилось сгущение сетки. Это вызвано наличием в этой области переходной зоны, в которой присутствует серьёзный градиент интересующих нас величин.

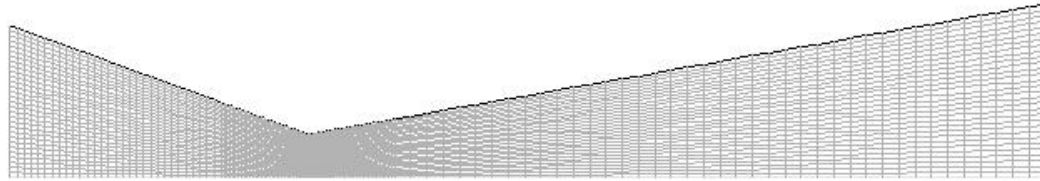


Рис. 3. Расчётная область

В качестве граничных условий на входе задавалось избыточное давление на входе в сопло, равное 300 КПа, в то время как на выходе – нулевое. Максимально заданное число итераций составило 500.

Результаты исследования. При проведении численного эксперимента была установлена высокая скорость сходимости решения, число необходимых для решения задачи итераций не превысило максимально заданного значения и составило 300. На рис. 4 показано распределение давления и скорости воздуха внутри сопла (величины указаны в паскалях и метрах в секунду соответственно), а на рис. 5 показано распределение числа Маха.

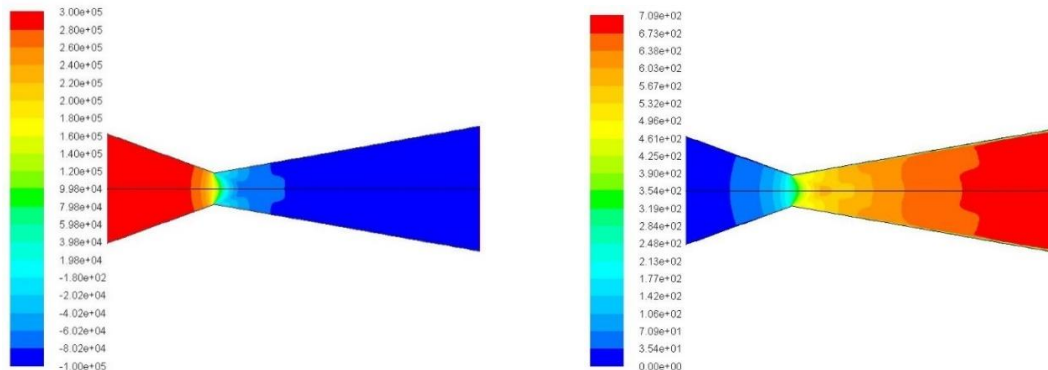


Рис. 4. Распределение давления и скорости потока воздуха внутри сопла

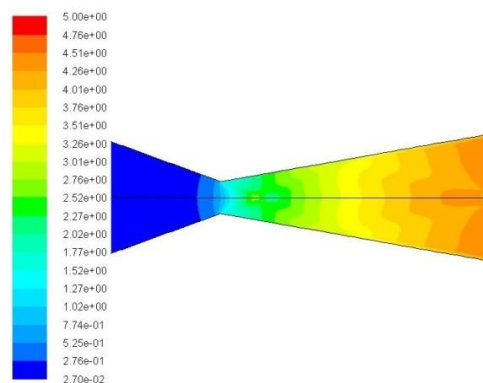


Рис. 5. Распределение числа Маха внутри сопла

Как видно из приведённых распределений, величина давления уменьшается по мере увеличения координаты x , в то время как скорость (а, следовательно, и число Маха) возрастает. Критическим для этих параметров сечением оказывается т.н. «горлышко», самое узкое сечение сопла, что хорошо согласуется с теорией. Кроме того, хорошее качественное соответствие с теорией (рис. 6) также видно при сравнении графиков распределения давления, скорости и числа Маха вдоль оси (рис. 7-9). Вертикальной линией обозначено критическое сечение.

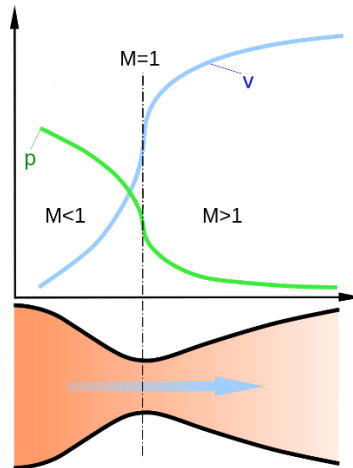


Рис. 6. Теоретическое распределение давления и скорости

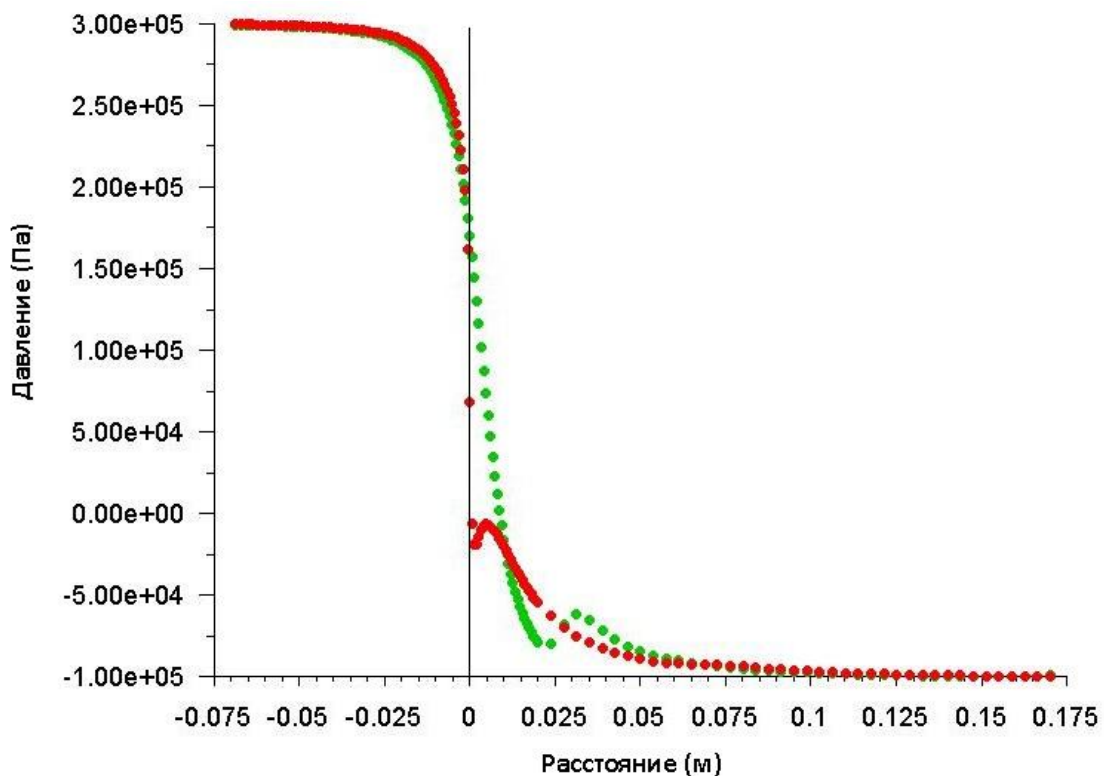


Рис. 7. Распределение давления вдоль оси сопла (зелёным) и около стенок (красным)

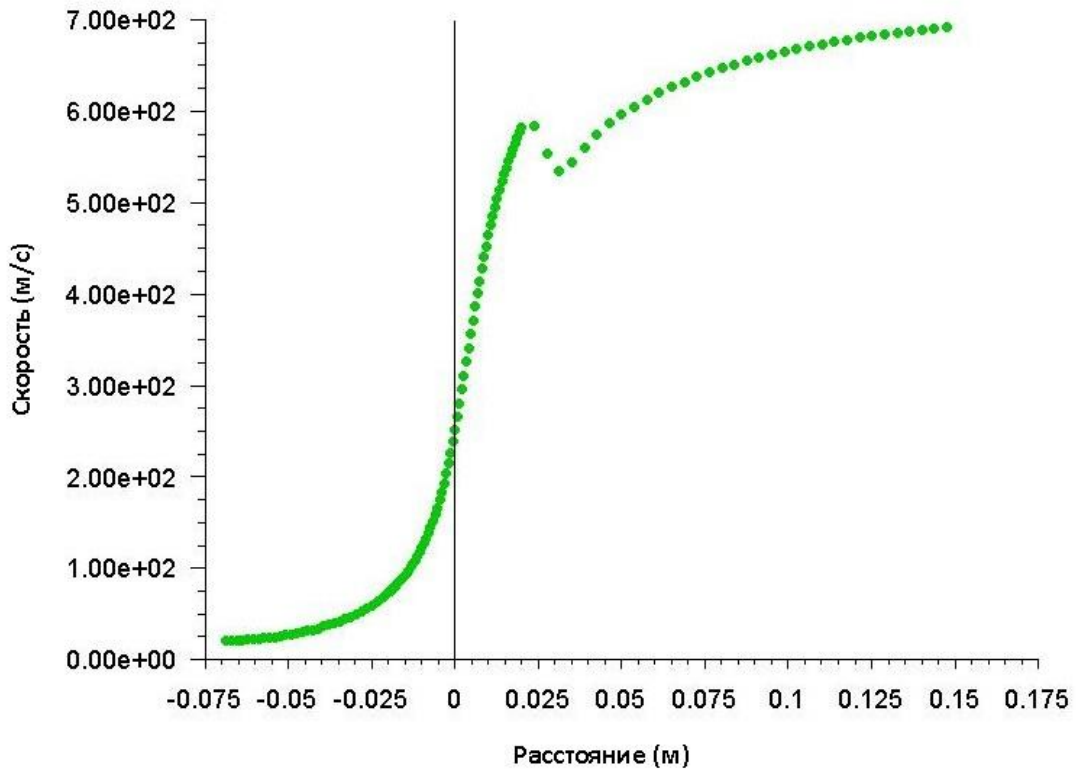


Рис. 8. Распределение скорости потока воздуха вдоль оси

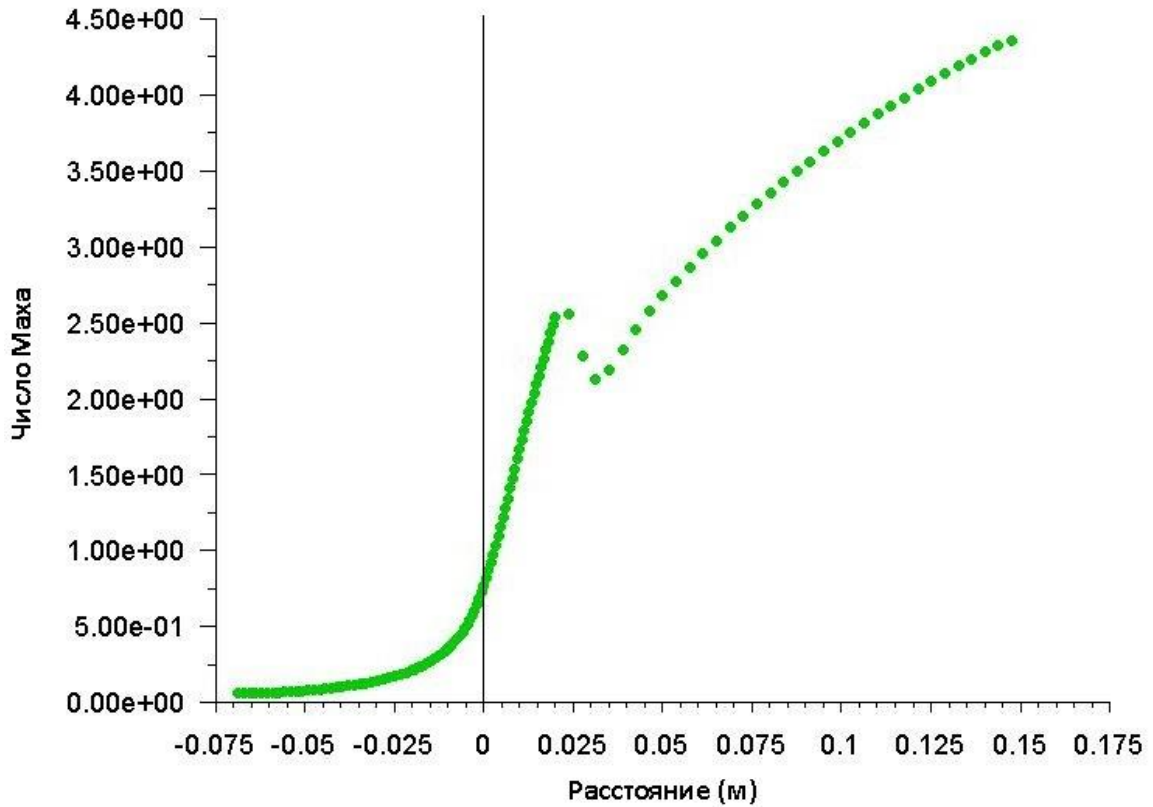


Рис. 9. Распределение числа Маха вдоль оси

Выводы. В данной работе был поставлен численный эксперимент, в котором было получено решение для распределения полей скоростей и давлений идеального газа внутри сопла Лаваля простой геометрии. Использование решателя на основе плотностей и достаточно точная сетка в критической области позволило добиться высокой скорости сходимости решения. Была показана корректность используемой вычислительной модели и хорошее соответствие полученных численных и теоретических результатов.

Список литературы.

[1]. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Глава X. Одномерное движение сжимаемого газа. § 97. Истечение газа через сопло // Теоретическая физика. — Т. 6. Гидродинамика.

[2]. Моравский А. В., Файн М. А. Огонь в упряжке, или Как изобретают тепловые двигатели. — М.: Знание, 1990. — 192 с

[3]. Валландер, С.В. Лекции по гидроаэромеханике: Учебн. пособие / Под. ред. Н.Н.Поляхова / С.В.Валландер. – СПб: Изд-во С.-Петербур. Ун-та, 2005. – 304 с.

[4]. Shih T.-H., Liou W.W., Shabbir A. et al. A new-eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows — model development and validation // Comput. Fluids. 1995. Vol. 24(3). P. 227–238.

[5]. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. М.: Наука, 1988. 424 с.

Пашченко Василий Васильевич – ассистент кафедры КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vasilii.pashchenko@gmail.com

Зиновьева Ольга Игоревна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zinoevaolga15@gmail.com

В.В. Пашенко, О.И. Зиновьева

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В КВАДРАТНОЙ КАВЕРНЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Задача о течении несжимаемой вязкой жидкости в квадратной каверне является классической задачей гидромеханики, иллюстрирующей отрывные течения без подвода массы. Эта задача является прекрасным тестом при сравнении различных методов решения уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости и часто применяется исследователями для проверки адекватности численного алгоритма [1-7]. Так, например, в [8, 9] на основе решения этой задачи в стационарной постановке обосновывается приемлемость и предпочтительность модели переноса сдвиговых напряжений (MSST), предложенной Менгером [10].

Аналитическое решение задач течения несжимаемой жидкости в каверне ограничивается рассмотрением нескольких частных случаев задач данного класса. Рассмотрим некоторые из них [11].

Невязкая модель (модель Эйлера) имеет два классических решения [12]: 1) допущение о потенциальности всего течения в каверне; 2) решение по схеме Кирхгофа. В первом случае задача решалась с использованием конформных отображений, во втором – применялось разбиение области течения на две: над каверной, где предполагалось поступательное движение, и в самой каверне, где жидкость покоилась.

Приближение Стокса относится к вязким моделям и эквивалентно решению уравнений Навье–Стокса без учета конвективных слагаемых, что соответствует очень медленному течению. В [13, 14] рассмотрено медленное течение в каверне, для которого получены решения в виде рядов. Вариационный метод для исследования медленного движения в открытой каверне применен автором работы [15]. Учет конвективных членов проводят авторы работ [16, 15]. В [15] с этой целью используется разложение функции тока в ряд по степеням числа Рейнольдса, в [16] рассматривается линейаризованная постановка задачи течения в круглой каверне, для решения которой применяется метод возмущений.

Линейаризованные уравнения пограничного слоя для определения течения в каверне использовал автор [17], где на внешней границе пограничного слоя задавался профиль скорости, полученный из экспериментов. В ядре вихря найден профиль скорости в виде ряда. Течение в открытой каверне осложняется наличием зоны смешения, где происходит перемешивание внешнего потока над каверной и течения непосредственно в каверне. Выбор границ зоны смешения, пограничного слоя, положения разделяющей линии тока, а также зоны присоединения определяет ту или иную модель течения.

Модель Чепмена. В теории Чепмена [18] допускается, что зона смешения отделена от дна каверны замкнутой областью с малой скоростью движения потока, длина зоны присоединения намного меньше толщины пограничного слоя в отрывной области, в сечении, характеризующемся точкой отрыва потока, пограничный слой отсутствует, давление по длине пограничного слоя не изменяется.

Модель Денисона-Баума. Денисон и Баум [19], основываясь на теории Чепмена, исключили из рассмотрения допущение об отсутствии пограничного слоя в сечении, характеризующемся точкой отрыва, и показали, что начальный профиль скорости в отрывном пограничном слое сильно влияет на распределение донного давления каверны.

Модель Бюргграфа. В отличие от модели Чепмена, Бюргграф [20], основываясь на результатах Бэтчелора, разбил всю область течения на внешний невозмущенный поток вдали от зоны смешения, внешний пограничный слой во внешнем потоке над каверной, внутренний пограничный слой и невязкое ядро непосредственно в каверне, а также предположил, что отрывная линия тока, соединяющая угловые точки каверны со стороны отсутствующей крышки, является прямой и скорость вдоль нее не уменьшается до нуля в точке присоединения. Сравнение решений согласно модели Бюргграфа с экспериментом показало ее применимость для больших чисел Рейнольдса, когда вязкие эффекты проявляются только в тонких пограничных слоях.

Модель Корста. Корст [21] предполагает, что длина зоны смешения равна длине открытой части каверны. Кроме этого, в модели учитывается профиль скорости набегающего потока и делается допущение об эквивалентности пограничного слоя на стенках и дне каверны пограничному слою на плоской пластине, причем скорость на внешней границе пограничного слоя полагается постоянной.

Модель Сквайра. Основываясь на идее Бэтчелора, Сквайр [22] разделил весь объем жидкости в каверне на ядро и пограничный слой вокруг него. В результате решения задачи по данной схеме Сквайром было получено, что максимум скорости внутри каверны может достигать ~30% от скорости внешнего потока.

В поставленной задаче численно исследуется течение жидкости (вода) в небольшой квадратной каверне со стороной 10 мм. Используется решатель двойной точности, задача рассматривается в нестационарной постановке. Моделирование выполнено на основе системы нестационарных осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье — Стокса, записанной в переменных скорость - давление. Температура среды предполагалась постоянной. Использована $k - \omega$ -SST [23] модель турбулентности, хорошо подходящая для данной задачи. Для временной аппроксимации использовалась неявная схема второго порядка.

Расчётная область показана на рис. 1.

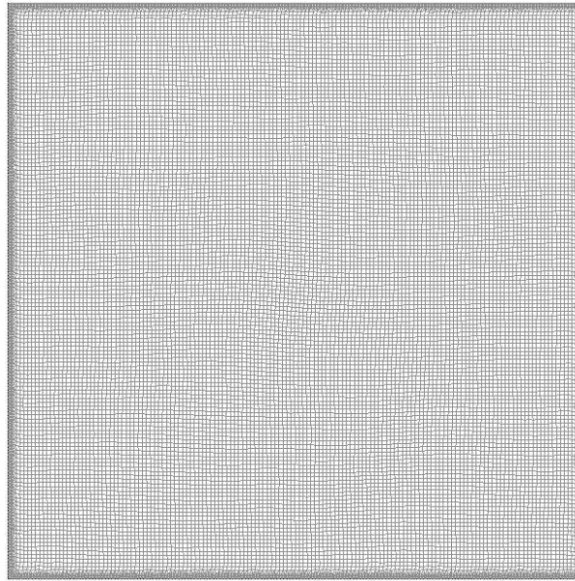


Рис. 1. Расчётная область модели

В качестве граничных условий на верхней стороне каверны была задана скорость, касательная к поверхности, величина которой составила 0.05 м/с. Для стенок были выбраны граничные условия неприлипания.

При проведении эксперимента с использованием $k - \omega$ -SST модели турбулентности была установлена высокая скорость сходимости решения. Число итераций было задано равным 100, временной шаг каждой итерации был выбран равным 0.1 с.

На рис. 2 представлено распределение линий тока в каверне (градиент и векторное поле). Хорошо видно завихрение, которое при увеличении скорости набегающего потока жидкости смещается к центру. Нужно отметить достаточно хорошее соответствие полученного численным методом результата с теоретическим (рис. 3), указанным в работе Лойцянского [24].

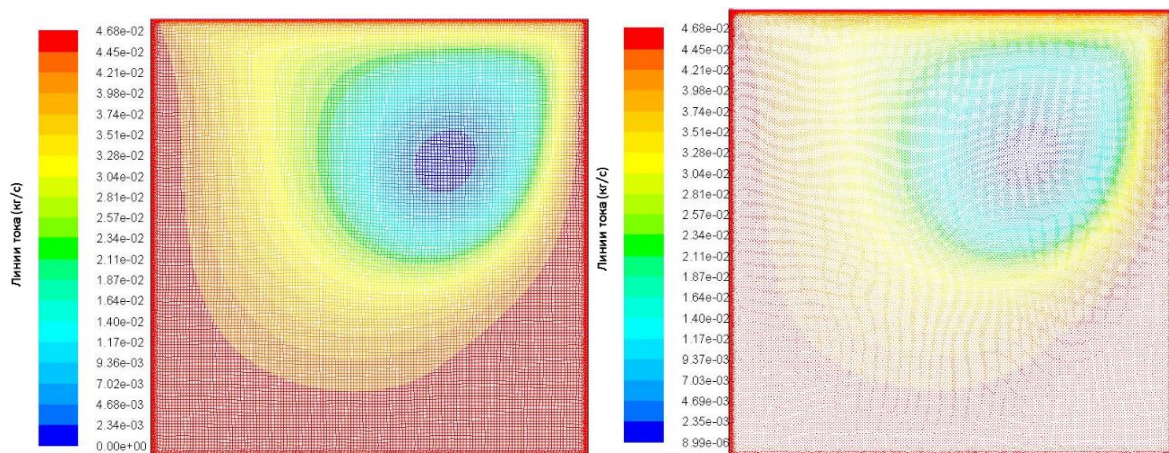


Рис. 2. Распределение линий тока в каверне

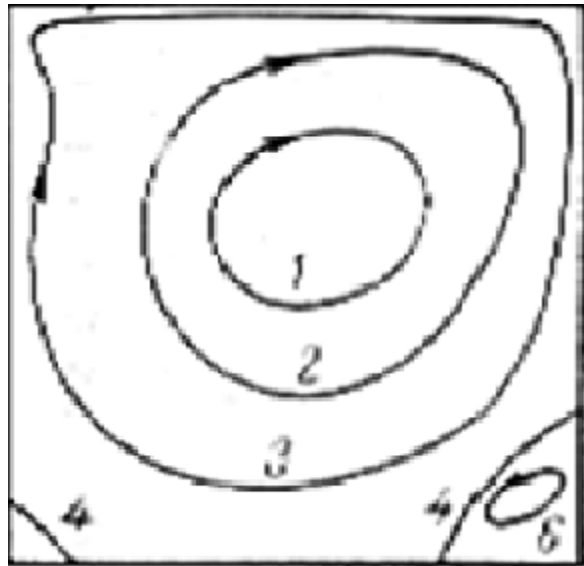


Рис. 3. Теоретические линии тока

На рис. 4 представлено поле распределения скоростей внутри каверны. Видно, что наибольшей скорости движения жидкость достигает в пограничном с каверной слое; в то же время в углублении скорость падает до нуля. Отметим, однако, что с увеличением скорости входного потока поле распределения скоростей претерпевает существенные изменения.

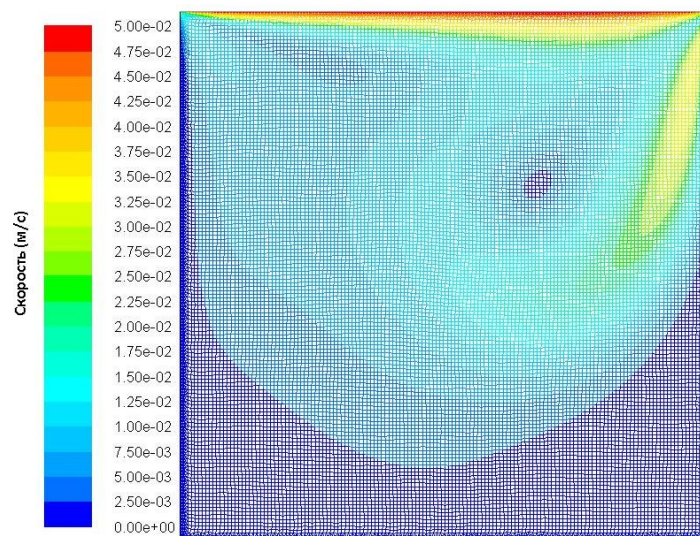


Рис. 4. Распределение поля скоростей

В работе проведено исследование нестационарного турбулентного течения в каверне, дан обзор аналитических методов решения данной задачи. Рассматриваются особенности численного моделирования задач обтекания потоком жидкости с использованием ANSYS Fluent, связанные с моделированием нестационарных течений. Показано, что использованная в расчёте $k-\omega$ -SST-модель турбулентности адекватно воспроизводит картину рас-

пределения линий тока и скоростей на сравнительно небольших по числу узлов сетках.

Список литературы.

[1]. Гуров Д. Б. Об одном способе построения алгоритма расчета течений вязкой несжимаемой жидкости / Д. Б. Гуров, Т. Г. Елизарова // Ж. выч. матем. и мат. физики. – 1990. – Т. 30, № 11. – С. 1719 – 1727.

[2]. Копченков В. И. К использованию существенно неравномерных сеток при численном решении уравнений Навье–Стокса / В. И. Копченков, А. Н. Крайко, М. П. Левин // Ж. выч. матем. и мат. физики. – 1982. – Т. 22, № 6. – С. 1457 – 1467.

[3]. Копченков В. И. Неявная итерационная схема для расчета течений вязкой несжимаемой жидкости / В. И. Копченков, Д. А. Никифоров // Ж. выч. матем. и мат. физики. – 1994. – Т. 34, № 8–9. – С. 1335 – 1343.

[4]. Кочубей А. А. Численное моделирование процессов конвективного переноса на основе метода конечных элементов / А. А. Кочубей, А. А. Рядно. – Днепропетровск : Изд-во ДГУ, 1991. – 228 с.

[5]. Пасконов В. М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена / В. М. Пасконов, В. И. Полежаев, Л. А. Чудов. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 288 с.

[6]. Полежаев В. И. Метод конечных элементов в задачах гидромеханики, тепло- и массообмена / В. И. Полежаев, А. И. Федосеев. – М., 1980. – 72 с. – Препринт/ АН СССР. Ин-т проблем механики; № 160.

[7]. Ghia K. N. Study of Incompressible Navier–Stokes Equations in Primitive Variables Using Implicit Numerical Technology / K. N. Ghia, Jr. W. L. Hankey, J. K. Hodge // AIAA Paper, 77-648. – 1977. – P. 156 –167. Перевод : Гхиа К.Н. Решение уравнений Навье–Стокса с учетом несжимаемости в обычных переменных / К. Н. Гхиа, В. Л. Хэнки, Дж. К. Ходж // Ракетная техн. и космонавтика. – 1979. – Т. 17, № 3. – С. 89 – 92.

[8]. Белов И. А. Задачи и методы расчета отрывных течений несжимаемой жидкости / И. А. Белов, С. А. Исаев, В. А. Коробков. – Л.: Судостроение, 1989. – 256 с.

[9]. Беляев Н. М. Численные методы конвективного теплообмена : Учебное пособие / Н. М. Беляев, А. А. Приходько. – Днепропетровск : ДГУ, 1983. – 104 с.

[10]. Гольдштик М. А. Математическая модель отрывных течений несжимаемой жидкости / М. А. Гольдштик // Доклады АН СССР. – 1962. – Т. 147, № 6. – С. 36 – 41.

[11]. Кочубей А. А. Сравнительный анализ численных и аналитических исследований циркуляционных двумерных течений в кавернах / А. А. Кочубей, Е. В. Кравец // Техническая механика. – 2012. – № 1. – С. 38 – 55.

[12]. Кочин Н. Е. Теоретическая гидромеханика / Н. Е. Кочин, М. А. Кибель, Н. В. Розе. – М. : Физматгиз, 1963. – Ч. 1. – 583 с.

- [13]. Ratkowsky D. A. Viscous flow in a rectangular cut-out / D. A. Ratkowsky, Z. Rottem // *Phys. Fluids*. – 1968. – V. 12, № 12. – P. 1822 – 1825.
- [14]. Takematsu M. Viscous flow in a two-dimension cavity / M. Takematsu // *J. Phys. Soc. Jap.* – 1965. – V. 20. – P. 283 – 285.
- [15]. Weiss R. F. Flow in a cavity at low Reynolds number / R. F. Weiss, B. H. Florsheim // *Phys. Fluids*. – 1965. – V. 8, № 9. – P. 1631 – 1635.
- [16]. Burggraf O. R. Analytical and numerical studies of the structure of steady separated flows / O. R. Burggraf // *J. Fluid Mech.* – 1966. – V. 24, Pt. 1. – P. 143 – 147.
- [17]. Mills R. D. On closed motion of a fluid in a square cavity / R. D. Mills // *J. Roy. Aero. Soc.* – 1965. – V. 69. – P. 116 – 121.
- [18]. Чжен П. Отрывные течения. В 3 частях / П. Чжен. – М. : Мир, 1973. – Ч. 1. – 299 с. – Ч. 2. – 280 с. – Ч. 3. – 333 с.
- [19]. Денисон А. К. Сжимаемый свободный струйный пограничный слой с ненулевой начальной толщиной / А. К. Денисон, В. В. Баум // *Ракетная техника и космонавтика* – 1963. – Т. 1, № 2. – С. 178 – 183.
- [20]. Burggraf O. R. Model of steady separated flow in rectangular cavities at high Reynolds number / O. R. Burggraf // *Proc. Heat Transfer and Fluid Mech. Inst.*, June, 21 – 23, 1965, Los Angeles, Calif. – P. 190 – 229.
- [21]. Korst H. H. Dynamics and thermodynamics of flow with separation, single and multi-component flow processes / H. H. Korst // *A symposium-proceedings*. Ed. By R.L. Peskin, C.F. Chen. – New Brunswick, New Jersey. – 1965. – P. 75 – 81.
- [22]. Squire H. B. Note on the motion inside a region of recirculation (cavity flow) / H. B. Squire // *J. Roy. Aero. Soc.* – 1956. – V. 60. – P. 203 – 205.
- [23]. Shih T.-H., Liou W.W., Shabbir A. et al. A new-eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows — model development and validation // *Comput. Fluids*. 1995. Vol. 24(3). P. 227–238.
- [24]. Лойцянский Л. Г. *Механика жидкости и газа*. М.: Наука, 1987, с. 485.

Пашенко Василий Васильевич – ассистент кафедры КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vasilii.pashchenko@gmail.com

Зиновьева Ольга Игоревна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zinovevaolga15@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 5.

КЛАССИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ.....

3

Со Нэй Лин Аунг, Тин Зар Аунг, Акименко Д.А.

Идентификация параметров электрогидравлического следящего привода методом Монте-Карло

4

Тин Эй Чжо, Тун Тун Чжо, Макаренков А.М., Широкова З.Г.

Компенсация влияния случайности параметров электрогидравлического следящего привода при расчете Pid-регулятора

7

Брынза А.А., Кузнецов Д.А., Корлякова М.О.

Подход к построению систем слежения за глазами на основе анализа особых точек

12

Брынза А.А., Кузнецов Д.А., Корлякова М.О.

Подход к построению человеко-машинного интерфейса на основе визуального анализа лица пользователя

16

Тун Тун Чжо, Тин Эй Чжо, Мьо Паунг Сат, Макаренков А.М.

Способ компенсации влияния случайности параметров электрогидравлического привода на дисперсию его выходного сигнала

20

Аксенов Н.В.

Сравнительный анализ алгоритмов получения оценок математического ожидания нестационарных случайных процессов [I] ..

27

Аксенов Н.В.

Сравнительный анализ алгоритмов получения оценок математического ожидания нестационарных случайных процессов [II] ..

30

СЕКЦИЯ 6.

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

34

Шемель И.Г., Иванушкина А.В.

Актуальность видеоэкологии в современных городах

35

Птускин А.С., Мальцев Н.Е., Аннадурдыев М.Ш.

Анализ и сравнение технологий переработки бытовых отходов в России

37

<i>Кусачева С.А., Морозенко М.И., Сащенко И.И., Сафронова М.Е.</i> Исследование возможностей применения микробных топливных элементов в решении природоохранных задач	42
<i>Кусачева С.А., Сащенко И.И., Карук М.В.</i> Исследование микробной загрязненности воздуха торгово-развлекательного центра	45
<i>Кусачева С.А., Кузнецова О.В., Бакутина Н.Н., Егорова А.Г.</i> Исследование микробной загрязненности питьевой воды	48
<i>Кусачева С.А., Василевская К.А.</i> Исследование субъективного восприятия учебных помещений в зависимости от типов темперамента учащихся	50
<i>Шашкина В.Д., Бочарова К.В., Хролынцев А.А., Шемель И.Г.</i> Исследование фильтрующей способности полипропиленового патрона	54
<i>Никулина С.Н., Семёнова Е.И., Горбачева М.С., Жукова Ю.М.</i> Концепция управления твердыми бытовыми отходами в Калужской области.....	60
<i>Жукова Ю.М., Короткова В.Е.</i> Определение значимости воздействия на атмосферный воздух промышленного предприятия на прединвестиционной стадии.....	62
<i>Яковлева О.В., Пименова Е.О.</i> Оптимизация работы станции водоподготовки Южного водозабора города Калуги	67
<i>Лаврентьева Г.В., Сергулев Р.А.</i> Оценка радиационной нагрузки на региональное население при нарушении многобарьерной защиты хранилища радиоактивных отходов	72
<i>Никулина С.Н., Семёнова Е.И., Горбачева М.С.</i> Современная альтернатива реагентным методам очистки природных вод	77
<i>Шахматова Н.А., Никулина С.Н.</i> Современные проблемы эффективности водоподготовки в городах	79
<i>Христофорова М.И., Яковлева О.В.</i> Современные тенденции использования различных фильтрующих материалов в водоподготовке	83
<i>Котосова Я.В., Белоусова К.С., Жукова Ю.М.</i> Экологическая оценка степени воздействия сточных вод гальванического производства.....	88

СЕКЦИЯ 7.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И КОМПЛЕКСАХ.....

.....	92
<i>Жидких Ю.С., Пономарев А.И.</i>	
Автоматическая система управления движением	93
<i>Пономарев А.И., Калинин А.А.</i>	
Анализ причин поломок торсионного вала в процессе эксплуатации электрического усилителя руля	95
<i>Алакин В.М., Плахов С.А., Никитин Г.С.</i>	
Исследование технологического процесса работы битера в комплексе с роторно-пальцевой сепарирующей поверхностью	99
<i>Зуев Е.С., Голубина С.А.</i>	
К вопросу исследования процесса подачи проволоки при упрочнении рабочих органов почвообрабатывающих машин.....	103
<i>Кузьмин Д.С., Пономарев А.И., Царёв О.А.</i>	
К вопросу об установке предпускового подогревателя на автомобиль Газель next	105
<i>Левецкая Е.В., Алакин В.М.</i>	
Подход к разработке кинематического привода ЭУР для автомобиля 4x4 производства ВАЗ	109
<i>Белкина А.П., Пономарёв А.И.</i>	
Разработка адаптивного дискового фрикционного вариатора для транспортных средств повышенной проходимости	112
<i>Садковский Б.П., Крылов М.В.</i>	
Технология удаления вмятин на кузове автомобиля	117

СЕКЦИЯ 8.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ.....

.....	120
<i>Дубинина М.С., Кристья В.И.</i>	
Аналитическая аппроксимация температурной зависимости коэффициента ионизации смеси аргон-ртуть в слаботочном разряде	121
<i>Лисовский Е.В.</i>	
Вопросы устойчивости решений линейных дифференциальных уравнений с неограниченным оператором в гильбертовом пространстве	123
<i>Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д., Соломатин А.А.</i>	
Десять пар астероидов группы Аполлона с близкими орбитами	126

<i>Супельняк М.И.</i>	
Исследование тепловых волн в полупространстве при пространственно неравномерных параметрах теплообмена	129
<i>Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д., Каретин А.А.</i>	
Кластер астероида (3200) Фаэтон.....	131
<i>Захаров В.Ю., Чернова Т.Г.</i>	
Линейные волны в горячей плазме с учетом эффекта Холла	135
<i>Козлова И.А.</i>	
Наилучшее равномерное приближение некоторых фрактальных моделей финансового рынка	140
<i>Степанов С.Е.</i>	
Обзор возможностей применения вейвлетов в задачах обработки и анализа данных	145
<i>Герасимова В.И.</i>	
Обобщение примера П.П. Коровкина непрерывной нигде не дифференцируемой функции	149
<i>Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д., Владыкин М.В.</i>	
Поиск астероидов, родственных Фаэтону, по данным эволюции элементов орбит	154
<i>Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д., Богов В.А.</i>	
Семейство астероидов (3200) Фаэтон	157
<i>Обрубов Ю.В., Влайков Н.Д.</i>	
Эволюция орбит астероидов Фаэтон (3200) и 2011ХА3	160
СЕКЦИЯ 9.	
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТЫ...	166
<i>Зиновьева О.И., Сизов А.Н.</i>	
Анализ НТД и сравнение физико-химических характеристик рабочих жидкостей гидроприводов на примере турбинных масел Тп-22 и Тп-46 ..	167
<i>Бугина И.М., Савин В.Ю.</i>	
Аэродинамическая труба К.Э. Циолковского как важный этап становления аэродинамики	172
<i>Цыганов Н.С.</i>	
Бесплотинные ГЭС.....	175
<i>Козлов А.Д., Коротков В.В.</i>	
Вихревой кавитационный теплогенератор	179
<i>Лосев Т.Ю.</i>	
Использование газораспределительных пунктов для регулирования давления газа перед потребителем	181

<i>Блащшин И.И., Керимов С.С., Чубаров Ф.Л.</i> Использование пневмопривода в качестве подвески легкового автомобиля	186
<i>Маклачков А.Н., Коротков В.В.</i> История развития судовых движителей	189
<i>Блащшин И.И., Чубаров Ф.Л.</i> Перспективы развития гидропневмоприводов в робототехнике	191
<i>Лосев Т.Ю.</i> Составление математической модели газового клапана осевого потока..	195
<i>Минеев В.А., Коротков В.В.</i> Уплотнения	200
<i>Пащенко В.В., Зиновьева О.И.</i> Численное исследование характеристики давление/скорость при сверхзвуковом течении газа в сопле Лавалья	202
<i>Пащенко В.В., Зиновьева О.И.</i> Численное моделирование течения жидкости в квадратной камере	209
СОДЕРЖАНИЕ	215

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ
И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ**

**Материалы
Всероссийской научно-технической конференции**

Том 2

Научное издание

Все работы публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений

Подписано в печать 11.11.2015.
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печ. л. 13,75. Усл. п. л. 12,79. Тираж 50 экз. Заказ № 164

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Оригинал-макет подготовлен и отпечатан в Редакционно-издательском отделе
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87