

ISSN 2415-7996

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Центр фундаментального образования

НАУЧНОМУ ПРОГРЕССУ – ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ

Материалы
XII международной молодежной научной конференции
по естественнонаучным и техническим дисциплинам

Йошкар-Ола, 21-22 апреля 2017 года

Часть 1

Йошкар-Ола
ПГТУ
2017

УДК 378.147.88

ББК 74.58

Н 34

Редакционная коллегия

Д. В. Иванов, член-корреспондент РАН, д-р физ.-мат. наук; профессор;

С. Г. Кудрявцев, канд. техн. наук, доцент;

Э. В. Унженкина, специалист по учебно-методической работе ЦФО;

В. Е. Шебашев, канд. техн. наук, профессор

Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XII
Н 34 международной молодежной научной конференции по естественно-
научным и техническим дисциплинам (Йошкар-Ола, 21-22 апреля
2017 г.): в 4 ч. / редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: По-
волжский государственный технологический университет, 2017. –
Ч. 1. – 204 с.

Представлены результаты научно-исследовательских работ молодых ученых, аспирантов и студентов по секциям «Математика», «Теоретическая и экспериментальная физика», «Прикладная механика», «Строительная механика и теория сооружений», «Прикладная геометрия и компьютерная графика», «Органический синтез и химическая технология», «Прикладная и экологическая химия».

УДК 378.147.88

ББК 74.58

© Поволжский государственный
технологический университет, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный уровень наукоемкого производства требует, чтобы обучающиеся в высшей школе овладели инновационной культурой, творческим мышлением, были способны легко воспринимать новые идеи, искать и создавать новейшие технологии с последующим их внедрением. Поэтому при организации учебного процесса необходимо переносить акцент на самостоятельную творческую работу студентов, связанную с решением конкретных научных или практических задач, в том числе и по заказам предприятий. В конечном итоге это позволит сформировать у обучающихся определенный набор компетенций для дальнейшей практической деятельности.

XII Международная молодежная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам, которая прошла 21-22 апреля 2017 года на базе центра фундаментального образования Поволжского государственного технологического университета была направлена на привлечение талантливой молодежи к научным исследованиям, использованию их творческого потенциала для решения актуальных проблем современной науки и практики.

Основные задачи, которые были поставлены при организации и проведении конференции:

- стимулировать интерес студентов к научному творчеству, научить методике, способам самостоятельного решения научно-исследовательских и практических задач, навыкам работы в научных коллективах;
- развить творческое и профессиональное мышление молодежи, углубить и закрепить полученные при обучении теоретические и практические знания;
- выявить наиболее одаренных и креативных студентов для подготовки резерва научно-педагогических и научных кадров;

– развить научные межвузовские связи как внутри страны, так и со странами ближнего и дальнего зарубежья.

В конференции участвовало более 400 представителей молодого поколения из вузов Российской Федерации, стран ближнего и дальнего зарубежья. Работа конференции была организована в 24 секциях. Наименования секций соответствовали научным направлениям деятельности научных школ ПГТУ. Работу секций курировали ведущие в соответствующих областях науки ученые ПГТУ и других вузов России. По представлению руководителей секций лучшие доклады отмечены дипломами соответствующей степени.

При подведении итогов работы конференции было отмечено благоприятное отношение молодежи к научно-техническому творчеству, ее огромный интеллектуальный потенциал, который в дальнейшем необходимо направить на решение новых научных и прикладных задач.

По результатам конференции выпускается сборник материалов в 4 частях. В данной части представлены секции: «Математика», «Теоретическая и экспериментальная физика», «Прикладная механика», «Строительная механика и теория сооружений», «Прикладная геометрия и компьютерная графика», «Органический синтез и химическая технология», «Прикладная и экологическая химия».

Оргкомитет выражает искреннюю признательность участникам конференции, их научным руководителям за высокий уровень представленных докладов. Особая признательность руководителям секций за процедуру отбора и квалифицированную оценку полученных результатов. Редакционная коллегия благодарит всех, кто предоставил статьи для публикации и помогал готовить их к публикации.

Желаем всем творческих успехов и удачи в достижении поставленных перед собой целей.

Проведение XIII конференции по традиционной тематике аналогично планируется на вторую декаду апреля 2018 года. До новых встреч!

Директор центра
фундаментального образования ПГТУ
С. Г. Кудрявцев

УДК 519.21

Васильев Н. И.

Научный руководитель: Пайзерова Ф. А., канд. физ.-мат. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ЗАДАЧА О РАЗОРЕНИИ ИГРОКА

Аннотация. Представлены основные формулы, используемые для решения общей задачи о разорении игрока. Примеры расчётов основных характеристик представлены в виде таблиц, приведен график изменения шансов на победу при изменении начального числа денег.

Ключевые слова: задача, разорение, шанс на победу, вероятность.

Данная задача о разорении игрока – задача из области теории вероятностей, которая подробно рассматривалась российским математиком Ширияевым в монографии [1,2].

Формулировка задачи выглядит следующим образом. За столом сидят два игрока. У первого в распоряжении находится $-A$ ($A < 0$, $-A > 0$) рублей, у второго в распоряжении находится B ($B > 0$) рублей. Перед ними на столе лежит асимметричная монета (вероятность, что выпадет аверс, может равняться любому числу от 0 до 1 включительно). Если на монете выпадает аверс, то рубль выигрывает первый игрок (второй игрок выплачивает первому 1 рубль), а если выпадает реверс, то первый игрок платит второму один рубль. Требуется найти вероятность того, что один из игроков проиграется в ноль за n шагов и вероятность проигрыша каждого азартного игрока.

Также необходимо вычислить среднюю длину игры. При достаточно больших n вероятность $\beta_n(x)$ близка к решению уравнения $\beta(x) = p\beta(x+1) + q\beta(x-1)$ при тех условиях, что $\beta(B)=1$ (выход произошёл сразу же из точки B – конец игры, выиграл первый игрок), $\beta(A)=0$ (первый игрок никогда не выиграет, если выход произойдёт мгновенно в точке A). Эти условия следуют из того, что $\lim_{n \rightarrow \infty} \beta_n(B) = \beta(B)$. Сначала получим решение уравнения $\beta(x) = p\beta(x+1) + q\beta(x-1)$. Пусть игра несправедливая ($p \neq q$). В таком случае найдём корни уравнения, то есть $\beta(x)$. Одно частное решение видно сразу: $\beta(x) = \text{const} = a$. Другое решение найдём, воспользовав-

шись тем, что $\beta(x)$ – функция. Целесообразно употребить выражение с отношением $\frac{q}{p}$, учитывая, что $p + q = 1$,

$$\left(\frac{q}{p}\right)^x = \frac{q^x(p+q)}{p^x} = \frac{q^x}{p^{x-1}} + \frac{q^{x+1}}{p^x} = p \frac{q^{x+1}}{p^{x+1}} + q \frac{q^{x-1}}{p^{x-1}} = p \left(\frac{q}{p}\right)^{x+1} + q \left(\frac{q}{p}\right)^{x-1} \dots$$

Отсюда правомерно предположить, что $\beta(x) = b \left(\frac{q}{p}\right)^x$. Добавление константы ничего не изменит благодаря тому, что $p + q = 1$.

Теперь рассмотрим общее решение $\beta(x) = a + b \left(\frac{q}{p}\right)^x$. Воспользуемся теми условиями, что $\beta(A) = a + b \left(\frac{q}{p}\right)^A = 0$ и $\beta(B) = a + b \left(\frac{q}{p}\right)^B = 1$, и получим, что

$$\beta(x) = \frac{\beta(x) - 0}{1 - 0} = \frac{\beta(x) - \beta(A)}{\beta(B) - \beta(A)} = \frac{a + b \left(\frac{q}{p}\right)^x - \left(a + b \left(\frac{q}{p}\right)^A\right)}{a + b \left(\frac{q}{p}\right)^B - \left(a + b \left(\frac{q}{p}\right)^A\right)} = \frac{\left(\frac{q}{p}\right)^x - \left(\frac{q}{p}\right)^A}{\left(\frac{q}{p}\right)^B - \left(\frac{q}{p}\right)^A}.$$

Величины $\beta(x) = \frac{x-A}{B-A}$ и $\alpha(x) = \frac{B-x}{B-A}$ было бы можно назвать вероятностями разорения первого и второго игрока при начальных капиталах $x - A$ и $x - B$ при стремлении количества ходов к бесконечности и характеристики случайной величины $\varepsilon_i = 1$ как выигрыша первого игрока, а $\varepsilon_i = -1$ – проигрыша первого игрока, если игра будет справедливой, т. е. $p = q = 0,5$.

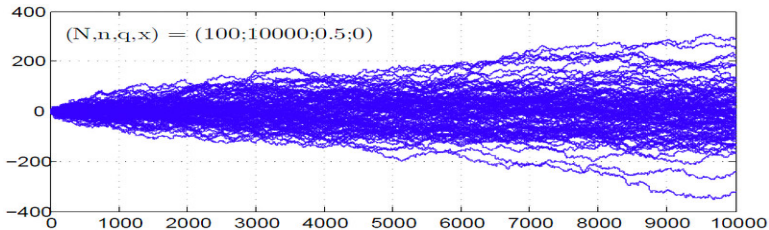


Рис. 1. Сто справедливых игр длиной в 10000 шагов

Приведенные ниже данные являются решением для общей задачи о случайном блуждании с двумя поглощающими барьерами, но также существуют и частные случаи данной задачи.

Примеры расчётов для $n = 3000$ шагов

№ теста	q	A	B	x	$\alpha(x)$	$\beta(x)$
1	0,49	-6	5	0	0,4006	0,5994
2	0,6	-60	6	-3	0,9740	0,0260
3	0,6	-20	2	-1	0,7038	0,2962
4	0,54	-10	50	10	0,9984	0,0016
5	0,5	-10	20	0	0,6667	0,3333
6	0,35	-3	90	0	0,1561	0,8439

Рассмотрим шансы на победы на примере задачи. Пусть противник всегда имеет фиксированное количество денег, например 10, как будет расти наш шанс на победу при справедливой игре.

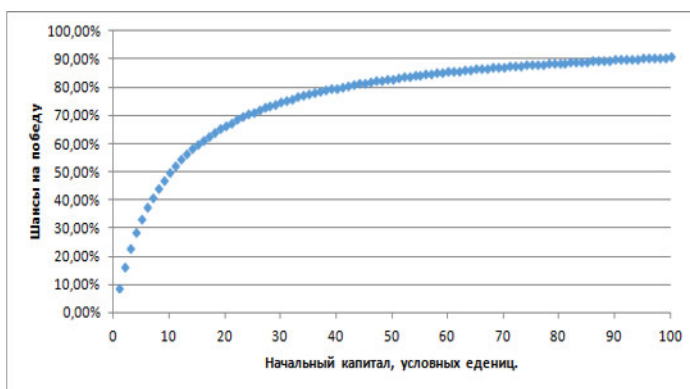


Рис. 2. Шансы на победу в зависимости от начального капитала

Литература

1. Ширияев, А. Н. Вероятность / А. Н. Ширияев: в 2-х кн. Кн. 1. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: МЦНМО, 2004. — 520 с.
2. Ширияев, А. Н. Вероятность / А. Н. Ширияев: в 2-х кн. Кн. 2. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: МЦНМО, 2004. — 408 с.

Мурзаева М. А.

Научный руководитель: Шарафутдинова Л. Н., доцент
Поволжский государственный технологический университет

МЕТОД СЕТОК ДЛЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

Аннотация. *Исследован метод сеток для решения уравнений математической физики параболического типа. Проведена оценка погрешности полученного решения.*

Ключевые слова: *уравнение математической физики, метод сеток, разностные схемы.*

К дифференциальным уравнениям с частными производными (и/или уравнениям математической физики) мы приходим при решении самых разнообразных задач. Например, при помощи дифференциальных уравнений с частными производными можно решать задачи теплопроводности, диффузии, многих физических и химических процессов. Для решения дифференциальных уравнений параболического типа существует несколько методов их численного решения на ЭВМ, однако особое положение занимает метод сеток, так как он обеспечивает наилучшие соотношения скорости, точности полученного решения и простоты реализации вычислительного алгоритма.

Целью данной работы является изучение метода сеток для решения уравнений математической физики параболического типа.

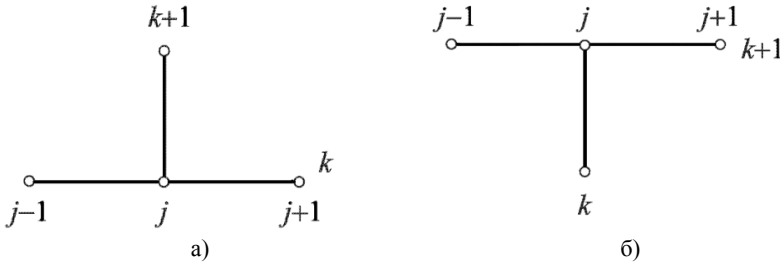
Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. изучить основные понятия, определения и методы решений уравнений математической физики;
2. ознакомиться с численными методами решений дифференциальных уравнений;
3. рассмотреть типы разностных схем;
4. использовать метод сеток для решения уравнений параболического типа;
5. оценить погрешности приближенного полученного решения.

Метод сеток (метод конечных разностей) является одним из самых распространенных методов численного решения уравнений с частными

производными. В его основе лежит идея замены производных конечно-разностными отношениями. В результате получается разностное уравнение, соответствующее данному дифференциальному уравнению. Рассмотрим несколько основных понятий, связанных с исследуемым методом [1].

Явными называют схему, в которой неизвестное значение искомой функции на $(k+1)$ -м шаге стоит только в левой части разностного уравнения, а в правой части стоят уже вычисленные ранее значения функции. Если в правой части стоят неизвестные значения искомой функции, то схема *неявная*. На рисунке представлены шаблоны явной (а) и неявной (б) разностных схем.



Шаблоны явной и неявной разностных схем

Приведем примеры разностных уравнений для одномерного уравнения теплопроводности (уравнения параболического типа):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(x, t).$$

Используя шаблон явной разностной схемы, получаем разностное

уравнение вида:
$$\frac{u_{j,k+1} - u_{j,k}}{\tau} = \frac{u_{j+1,k} - 2u_{j,k} + u_{j-1,k}}{h^2} + f_{j,k},$$

где $u_{j,k} = u(x_j; t_k)$ и $f_{j,k} = f(x_j; t_k)$ — соответственно значения искомой функции $u(x, t)$ и функции $f(x, t)$ в точке $(x_j; t_k)$, являющейся узлом сетки; τ — приращение времени; h — приращение переменной x .

При использовании неявной схемы разностное уравнение примет

вид:
$$\frac{u_{j,k+1} - u_{j,k}}{\tau} = \frac{u_{j+1,k+1} - 2u_{j,k+1} + u_{j-1,k+1}}{h^2} + f_{j,k}.$$

Конечно-разностная схема называется *устойчивой*, если малые погрешности, допущенные в процессе решения, затухают или, во всяком случае, остаются малыми при неограниченном увеличении номера текущего слоя. В противном случае схема называется *неустойчивой*.

Результаты исследования. При выполнении проекта исследован метод сеток для решения уравнений с частными производными, а также рассмотрены примеры решений задачи Дирихле [2].

В результате исследования были изучены идеи метода, проведены основные этапы решения задачи:

1) в плоской области G , в которой разыскивается решение, строится *сеточная область*, состоящая из одинаковых ячеек и приближающая данную область G ;

2) заданное дифференциальное уравнение заменяется в узлах построенной сетки соответствующим конечно-разностным уравнением;

3) на основании граничных условий устанавливаются значения искомого решения в граничных узлах сеточной области.

В каждом случае были определены погрешности полученных приближенных решений. Отметим, что погрешности полученных решений складываются из трёх видов погрешностей:

- погрешности замены дифференциального уравнения разностным;
- погрешности аппроксимации краевых условий;
- погрешности, получаемой в результате того, что система разностных уравнений решается приближенным методом.

Очень важным вопросом является вопрос устойчивости решения дифференциального уравнения. Известно, что при аппроксимации дифференциальных уравнений параболического типа явная схема является условно устойчивой, а неявная – абсолютно устойчивой.

Литература

1. Самарский, А. А. Уравнения математической физики: учебное пособие / А. А. Самарский, А. Н. Тихонов. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: изд-во МГУ, 1999. – 798 с.
2. Буханько, А. А. Приближенные методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений с частными производными и интегральных уравнений: учеб.-метод. пособие / А. А. Буханько, О. П. Чостковская. – Самара: изд-во Самар. гос. аэро-косм. ун-та, 2011. – 68 с.

Сапаков Н. Д.

Научный руководитель: Шарафутдинова Л. Н., доцент
Поволжский государственный технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА БУБНОВА-ГАЛЁРКИНА ПРИ РЕШЕНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрены примеры использования метода Бубнова-Галёркина при решении дифференциальных уравнений. Особое внимание уделено решению уравнений, описывающих процессы нагрева и термообработки.

Ключевые слова: процессы нагрева, термообработка, уравнения математической физики, метод Бубнова-Галёркина.

Математическое моделирование является неотъемлемой частью исследования физических процессов. Возможность использования пакетов прикладных программ и ИТ- технологий позволяет реализовать самые сложные математические модели и провести расчеты с необходимой точностью. Становится актуальной задача исследования методов решения уравнений математической физики, в частности уравнения теплопроводности.

Целью исследования является ознакомление с методом Бубнова-Галёркина и использование метода для решения моделей, описывающих процессы нагрева и термообработки.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. изучение метода Бубнова-Галёркина;
2. применение метода при решении обыкновенных дифференциальных уравнений;
3. применение метода при решении уравнения теплопроводности.

Метод Бубнова-Галёркина – это метод определения коэффициентов a_k конечной суммы в выражении для приближенного решения

$$y(x) = y_0(x) + \sum_{k=1}^n a_k \cdot y_k(x) \text{ дифференциального уравнения } L[y(x)] = 0,$$

где $L[y(x)]$ – дифференциальный оператор, который может содержать как частные, так и полные производные искомой функции $y(x)$. Методы Бубнова-Галёркина могут быть использованы при решении диффе-

ренциальных уравнений в частных производных, а также при формировании основ метода конечных элементов.

Немного истории. Метод был разработан и применен Иваном Бубновым в 1913 г., однако приобрёл популярность после исследований Бориса Галёркина (1915 г). Поэтому метод называют как методом Галёркина, так и методом Бубнова-Галёркина. Теоретическое обоснование методу было дано Мстиславом Кельдышем [1]. В 1942 г. в журнале «Известия АН СССР» была опубликована статья М. В. Кельдыша «О методе Б. Г. Галёркина для решения краевых задач», в которой автор обосновал метод для обыкновенного дифференциального уравнения четного порядка и доказал сходимость метода в случае простейшей краевой задачи для общего уравнения эллиптического типа.

Рассмотрим применение метода Галёркина при решении обыкновенных дифференциальных уравнений на примере.

Пример 1. Рассмотрим краевую задачу: $y'' + y = x$, $0 \leq x \leq 1$, граничные условия: $y(0) = y(1) = 0$.

Возьмем $\varphi_0 = 0$, $\varphi_k(x) = x^k \cdot (1-x)$, $k = 1, 2, \dots$

Применяя метод Галёркина, получим:

$$y_1(x) = \frac{5}{18} x \cdot (x-1),$$

$$y_2(x) = \frac{71}{369} x \cdot (1-x) + \frac{7}{41} x^2 \cdot (1-x).$$

Точное решение данного дифференциального уравнения имеет вид

$$y(x) = C_1 \cdot \cos x + C_2 \cdot \sin x + x.$$

Подставив краевые условия, получаем: $y(x) = -\frac{1}{\sin 1} \cdot \sin x + x$.

В таблице приведены значения точного решения $y(x)$ и приближенных решений $y_1(x)$ и $y_2(x)$ в отдельных точках.

x	$y(x)$	$y_1(x)$	$y_2(x)$
0,25	0,044	0,052	0,044
0,5	0,07	0,069	0,062
0,75	0,06	0,052	0,06

Как видим, более точные значения мы получили во втором случае, т. е. $y_2(x) = \frac{71}{369}x \cdot (1-x) + \frac{7}{41}x^2 \cdot (1-x)$ является приближенным решением данного уравнения с меньшей погрешностью, чем первое решение $y_1(x) = \frac{5}{18}x \cdot (x-1)$.

Метод Бубнова-Галёркина активно используется при решении уравнений математической физики. В статье «Математическое моделирование некоторых процессов нагрева и термообработки» [2] авторы Воронова Н. П. и Климович Г. А. используют ортогональный метод Бубнова-Галёркина для решения системы уравнений, включающей уравнение теплопроводности. Краевая задача содержит начальные условия и краевые условия I, II и III рода. Таким образом, авторами решена задача «оптимизации нагрева и термообработки материалов, в которой учтены все основные параметры, влияющие на качество и характер протекания процессов» [2].

В ходе ознакомления с примерами использованием метода Бубнова-Галёркина при решении задачи теплопроводности изучены свойства оператора Лапласа, а также операторные методы решения дифференциальных уравнений [3].

Литература

1. Афендикова, Н. Г. История метода Галеркина и его роль в творчестве М. В. Келдыша / Н. Г. Афендикова // репринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2014. – №77. – 16 с. – Режим доступа: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2014-77>.
2. Воронова, Н. П. Математическое моделирование некоторых процессов нагрева и термообработки / Н. П. Воронова, Г. А. Климович // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2006. – №2. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/matematiceskoe-modelirovanie-nekotoryh-protsessov-nagreva-i-termoobrabotki> (дата обращения: 17.12.2016).
3. Письменный, Д. Т. Конспект лекций по высшей математике: Полный курс / Д. Т. Письменный. – 2-е изд. – М.: Айрис-пресс, 2004. – 608 с.

Худошин Я. О.

Научный руководитель: Катков Е. В., канд. физ.-мат. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ГИПОТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ И ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Аннотация. *Если есть что-то, что используется для исследования реальности, то оно выражается не словами, а математикой. Математикой не просто легче описать реальность – это единственный способ описать её.*

Ключевые слова: математика, реальность, Вселенная, теория, структуры, время-пространство.

Самой амбициозной задачей, которую ставит перед собой физика со времён Эйнштейна, является задача построения единой теории всех известных взаимодействий. Эта задача не решена до сих пор. Но уже очевидно, что с логической точки зрения этот путь ведёт к «парадоксальной бесконечности».

Гипотеза математической вселенной (ГМВ, также известна как Конечный Ансамбль) – в физике и космологии, одна из гипотез «теории всего», предложенная физиком-теоретиком Максом Тегмарком.

Как известно, Галилей заявлял, что Вселенная является «великой книгой», написанной на языке математики. Вселенная не просто описывается при помощи математики, но она сама и есть математика в том смысле, что все мы представляем собой элементы гигантского математического объекта, который, в свою очередь, является частью мультивселенной. Нас постоянно окружает множество всяких геометрических фигур и тел. Вселенной свойственна некая математичность, которая проявляется тем больше, чем глубже человек проникает во Вселенную. Посмотрите, например, на любой угол, и там вы увидите три ребра при вершине. Откуда взялось именно число три? Мы называем это число размерностью нашего пространства. Подобное доказывает, что человек не изобретает математические структуры – он их лишь обнаруживает, а потом изобретает знаки для их обозначения. Поэтому все придуманные человеком математические символы – это всего лишь пустые этикетки без внутреннего смысла. Может ли физическая реальность действительно быть математической? Ответить на этот вопрос нам поможет Эйн-

штейн. Он учил, что существует два эквивалентных способа думать о физической реальности: как о трехмерном вместилище пространстве, где все изменяется во времени, и как о четырехмерном вместилище, называемом пространство-время, которое просто существует. Различие между прошлым, настоящим и будущим существует только в первой точке зрения, но не во второй, с которой воспринимается математическая структура – в последнем случае мы не сможем спрашивать, который час, а только – в каком мы времени.

Жизнь, очищенная от субъективности

Гипотеза о математической Вселенной предполагает, что мы живем, так сказать, в «реляционной реальности»: свойства окружающего нас мира проистекают не от свойств ее конечных строительных кирпичей, но от отношений между этими кирпичами.

Мы сложены из клеток, которые состоят из молекул, состоящих из атомов, состоящих из элементарных частиц – а те являются чисто математическими структурами в том смысле, что все свойства, которыми они обладают, являются чисто математическими. Хотя мы пока не знаем, из чего состоят эти частицы (если они вообще из чего-то состоят), теория струн и ее основные конкуренты предполагают, что любые более мелкие «строительные блоки» также являются чисто математическими. Мы получаем, что люди – это части гигантского математического объекта, обладающие самосознанием. Поэтому переходя к все большим масштабам, мы приходим к тому же самому – царству математических структур. На самых больших и самых малых масштабах математическая природа реальности очевидна, тогда как на промежуточных масштабах, с которыми люди обычно имеют дело, ее трудно заметить. Вследствие сказанного, снижается статус таких известных нам понятий, как «случайность», «сложность» и даже переоценивается понятие «иллюзии». Если математическая структура содержит самосознающую субструктуру, та будет воспринимать себя как существующую в реальной физической вселенной так же, как мы с вами. Многие математические структуры – додекаэдр, например, – недостаточно сложны, чтобы поддерживать самосознающие субструктуры какого-либо вида. Так что скорее всего, Вселенная напоминает огромную, но по большей части необитаемую пустыню, где жизнь заключена в редких оазисах дружественных к биологии математических структур, вроде той, в которой живем мы.

Резюме

- Все, включая свет и нас самих, кажется состоящим из частиц.
- Эти частицы являются чисто математическими объектами в том смысле, что им присущи лишь математические свойства – вроде чисел, называемых зарядом, спином и лептонным числом.

- Математические структуры вечны и неизменны: не они существуют в пространстве и времени, а скорее пространство и время существуют в них (в некоторых). Если бы космическая история была кинофильмом, то математическая структура была бы целым диском.

- Гипотеза математической Вселенной (ГМВ) предполагает, что течение времени является иллюзией, как и изменение.

- ГМВ предполагает, что созидание и уничтожение – это иллюзии, поскольку они связаны с изменением.

- ГМВ предполагает, что математической структурой является не только пространство-время, но и все вещество в нем, включая частицы, из которых состоим мы. Математически это вещество, по-видимому, соответствует полям – числам в каждой точке пространства времени, которые задают, что там находится.

- ГМВ предполагает, что мы – самосознающая субструктура математической структуры. В эйнштейновской теории гравитации мы представляем собой косицеобразную структуру в пространстве-времени.

- Похожая на кино субъективная реальность существует лишь у нас в голове как часть модели реальности вашего мозга, и она включает не только отредактированные образы, полученные здесь и сейчас, но и подборки заранее записанных отдаленных в пространстве и времени событий, что создает иллюзию течения времени.

Литература

1. Тегмарк, М. Наша математическая Вселенная. В поисках фундаментальной природы реальности. – М.: АСТ, 2016. – 512 с.

УДК 531.62

Абсалямов И. Р., Герасимов Д. С., Пахмутов А. С., Таланцев А. Р.,
Трушков К. О.

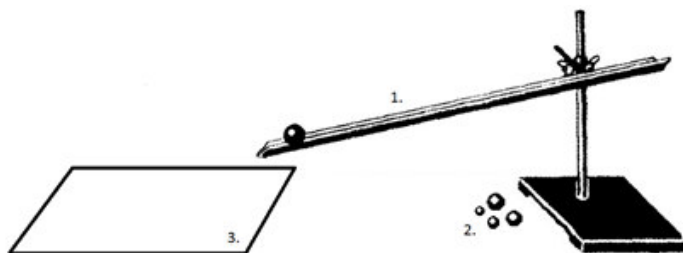
Научные руководители: Косова Г. Н., канд. физ.-мат. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА ПО НАКЛОННОМУ ЖЕЛОБУ В ПОЛЕ ТЯЖЕСТИ ЗЕМЛИ

***Аннотация.** Предложена методика, и изготовлена лабораторная установка для исследования движения тела шарообразной формы в поле силы тяжести.*

***Ключевые слова:** закон сохранения энергии, момент инерции, трение качения, трение скольжения.*

Классическая лабораторная работа в курсе общей физики по изучению закона сохранения механической энергии выполняется на приборе Гримзеля [1]. Устройство этого прибора и методика выполнения работы имеет ряд существенных недостатков. Для исключения вращательного движения шарика используется держатель – металлический стержень с кольцом, влияние которого на результаты измерений не учитывается. В настоящей работе предложена методика, и изготовлена лабораторная установка для исследования движения тела шарообразной формы в поле силы тяжести с учетом его вращения вокруг мгновенной оси.



Изображение установки

Прибор очень прост в исполнении (рисунок): состоит из желоба (1), угол наклона которого можно изменять; набора шариков различной

массы и размеров (2); ящика с копировальной и миллиметровой бумагой (3); устройств для измерения расстояния и угла наклона.

Характер движения шарика зависит от угла наклона желоба. При определенном угле (назовем его предельным) качение шарика переходит в скольжение. Сила трения скольжения значительно превосходит силу трения качения, поэтому потери механической энергии будут значительны. В работе проведены теоретическая оценка величины предельного угла с использованием табличных значений коэффициентов трения и экспериментальная. Показано, что при угле $\alpha \geq 27^\circ$ качение переходит в скольжение шарика. При выполнении лабораторной работы это необходимо учитывать.

Для определения кинетической энергии шарика в момент отрыва от желоба необходимо найти скорость центра массы в этот момент, что можно сделать, измеряя перемещение шарика вдоль горизонтальной оси. Пусть M – масса сплошного шара, R – его радиус, h – высота подъема желоба над его нижней точкой, S – длина пути, α – угол наклона желоба к горизонту, l – длина полета шарика по оси Ох. По закону сохранения механической энергии, пренебрегая трением качения и сопротивлением воздуха, можем записать

$$\frac{I_M \omega^2}{2} = Mgh.$$

По теореме Гюйгенса-Штейнера [2] момент инерции сплошного шара относительно мгновенной оси при качении шара по прямоугольному желобу равен

$$I_M = \frac{9}{10} MR^2.$$

Далее для взаимосвязи угловой скорости вращения шара и скорости поступательного движения центра масс в данном случае имеем

$$\omega = \frac{V\sqrt{2}}{R}.$$

Введем коэффициент η отношения изменения потенциальной энергии при скатывании шарика по желобу к кинетической энергии в момент отрыва и преобразуем его с учетом приведенных выше соотношений

$$\eta = \frac{2Mgh}{I_M \omega^2} = \frac{10gh}{9V_0^2}.$$

Анализируя движение шарика во время свободного падения, получаем выражение для квадрата начальной скорости

$$V_0^2 = \frac{gl^2}{2 \cos^2 \alpha (h - l \operatorname{tg} \alpha)}.$$

С учетом этого коэффициент η определяется соотношением

$$\eta = \frac{20gS \sin \alpha \cos^2 \alpha (h - l \operatorname{tg} \alpha)}{9gl^2}.$$

Это соотношение и подлежит проверке при выполнении лабораторной работы. По закону сохранения механической энергии коэффициент должен быть равен единице. В работе также получена формула для оценки погрешности измерений. Влияние силы трения качения на результаты измерений не превышает величины погрешности.

Применение теоремы о движении центра масс к движению исследуемого тела позволило получить теоретическое выражение для ускорения, с которым шарик скатывается по желобу

$$a = \frac{5}{9} g \sin \alpha.$$

Проанализировав полученный результат, видим, что ускорение любого сплошного шара зависит только от угла наклона желоба к горизонту и не зависит от массы и радиуса шара. Этот результат можно проверить опытным путем, измеряя ускорение через пройденный путь и время движения. Экспериментально полученные графики зависимости ускорения от синуса угла наклона желоба и от радиуса шара подтверждают характер этой зависимости.

Подводя итог проделанной работе, можно сделать следующие выводы:

1. сделаны лабораторные установки;
2. проведены теоретические расчеты, результатом которых являются расчетные формулы для определения кинетической энергии и ускорения скатывающегося шара;
3. найден предельный угол, при котором катящийся по желобу шар начинает проскальзывать;
4. экспериментально проверен закон сохранения механической энергии, проведены исследования зависимости ускорения от угла наклона желоба, радиуса шарика;
5. получены формулы для расчета погрешностей;
6. подготовлены методические указания для выполнения этой лабораторной работы.

Разработанная методика и изготовленная установка рекомендуются для проведения лабораторных работ по механике в курсе общей физики.

Литература

1. Механика: лабораторный практикум / Г. Н. Косова, Л. П. Кулакова, Г. Ю. Кожина [и др.]: под ред. Г. Н. Косовой. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2013. – 88 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. / Д. В. Сивухин – Т. 1. Механика.. – М.: МФТИ, 2005. – 560 с.

УДК 536

Бакиева Д. Р., Болдин Н. И., Перов Д. Ю.

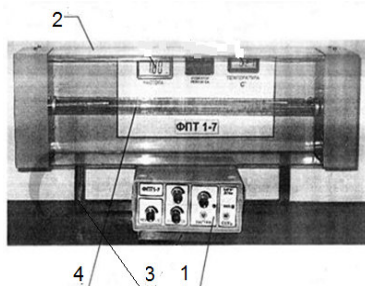
Поволжский государственный технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ МЕТОДОВ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ

Аннотация. С помощью лабораторной установки ФПТ1-7 показана методика определения скорости звука и коэффициента Пуассона для воздуха.

Ключевые слова: резонанс, собственные колебания, коэффициент Пуассона, адиабатный процесс.

Цель работы: изучение процесса распространения звуковой волны в воздухе, измерение скорости звука в воздухе при различных температурах и определение отношения теплоемкостей.



Экспериментальная установка ФПТ1-7: 1 – блок приборов; 2 – блок рабочего элемента; 3 – стойка; 4 – труба с нагревателем

Для определения отношения теплоемкостей воздуха резонансным методом применяется экспериментальная установка ФПТ1-7, общий вид которой показан на рисунке.

Рабочий элемент установки представляет собой стеклянную трубу длиной L (4), на концах которой размещены телефон и микрофон. Температуру воздуха в среде можно изменять с помощью нагревательной спирали, навитой на трубу. В блоке приборов (1) расположен генератор звуковых колебаний, подключенный к телефону.

Максимальные значения тока, зарегистрированные миллиамперметром во время плавного изменения частоты колебаний, соответствуют появлению резонанса в канале.

Звуковыми волнами называются распространяющиеся в упругой среде механические колебания с малыми амплитудами. Распространение звуковых волн в области среды, где нет источников, описывается

$$\text{волновым уравнением } \frac{\partial^2 P_a}{\partial t^2} = \nu^2 \frac{\partial^2 P_a}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где P_a – звуковое давление, а ν – скорость звука в среде, которая для газов с учетом адиабатичности процесса распространения звука нахо-

$$\text{дится по формуле } \nu = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}}. \quad (2)$$

Здесь P_0, ρ_0 – давление в среде и ее плотность в отсутствии звуковой волны; $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ – показатель адиабаты газа равный отношению теп-

лоемкостей газа при постоянном давлении и при постоянном объеме, называемый также коэффициентом Пуассона. Используя уравнение Клапейрона-Менделеева для скорости распространения звука в газах,

$$\text{можно получить } \nu = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}, \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура,

$$\mu – \text{молярная масса воздуха). Из формулы (3) следует: } \gamma = \frac{\mu \nu^2}{RT}. \quad (4)$$

В случае ограниченных сред для уравнения (1) надо учитывать граничные условия: например, в трубах независимо от того, жесткие концы трубы (смещение на концах равно нулю) или мягкие (на концах равно нулю звуковое давление) наиболее интенсивно возбуждаются стоячие

$$\text{волны (собственные колебания) с частотами } \nu_n = \frac{n\nu}{2L}, \quad (5)$$

где n – целое число, называемое номером собственного колебания, ν_1 – частота основного колебания, ν_2 – частота второй гармоники и т. д.

При совпадении частоты вынуждающей силы с одной из собственных частот возникает резонанс на этой частоте. Поэтому метод измерения скорости звука называется резонансным. Как видно из (5), резо-

нансные частоты должны укладываться в виде дискретных точек на прямой $\nu = \nu(n)$. Результаты измерения резонансных частот при трех температурах 24°С, 45°С, 65°С представлены в табл. 1.

Таблица 1

Температура, °С	t=24°С ⁰	t=45°С	t=65°С
N гармоник	Частота, Гц	Частота, Гц	Частота, Гц
1	353	370	378
2	693	719	744
3	1026	1080	1103
4	1366	1370	-
5	1719	-	-

Построив прямые $\nu = \nu(n)$ по табл. 1, находим тангенс угла наклона $K_\alpha = \frac{\Delta \nu}{\Delta n}$, определяем скорость звука по формуле $\nu = \frac{\Delta \nu}{\Delta n} \cdot 2L$, и по формуле (4) находим γ . Результаты расчетов по формулам (4) и (5) занесены в табл. 2.

Таблица 2

Температура, °С	Скорость звука, м/с	Коэффициент Пуассона
24	347	1,42
45	342	1,29
65	369	1,41

Выводы: На данной установке ФПТ1-7 возможно одновременно определять скорость звука и коэффициент Пуассона для воздуха при заданных экспериментатором температурах, близких к комнатной.

Литература

1. Савельев, И. В. Курс физики: учеб.: в 3-х т. Т. 1: Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 352 с.
2. Исакович, М. А. Общая акустика / М. А. Исакович. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. – 502 с.
3. Красильников, В. А. Введение в акустику / В. А. Красильников. – М.: изд-во МГУ, 1992. – 152 с.
4. Учебная техника ООО. Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры ФПТ1-7. – Режим доступа: <http://lab-texnika.all.biz/ustanovka-dlya-izucheniya-zavisimosti-skorosti-g1840379>.

Бакиева Д. Р., Зиборов К. В., Маргин А. Н., Рубцова А. А.
Поволжский государственный технологический университет

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ МЕТАЛЛОВ НА УСТАНОВКЕ ФПТ1-8

Аннотация. Представлена методика измерения и расчета теплоемкости твердых тел: стали, дюрали, латуни.

Ключевые слова: внутренняя энергия, теплоемкость, осциллятор, кристаллическая решетка, твердое тело.

Одним из способов получения информации о строении твердых тел является измерение их теплоемкости.

Целью работы является определение теплоемкости металлов.

Согласно классической теории теплоемкости [1, 2, 3] твердое тело из N одинаковых атомов, находящихся в узлах кристаллической решетки, рассматривается как система связанных трехмерных осцилляторов, которая в свою очередь может быть сведена к системе $3N$ независимых одномерных осцилляторов. Средняя энергия такого осциллятора равна kT , где k – постоянная Больцмана.

Внутренняя энергия такой системы осцилляторов равна

$$U = 3NkT. \quad (1)$$

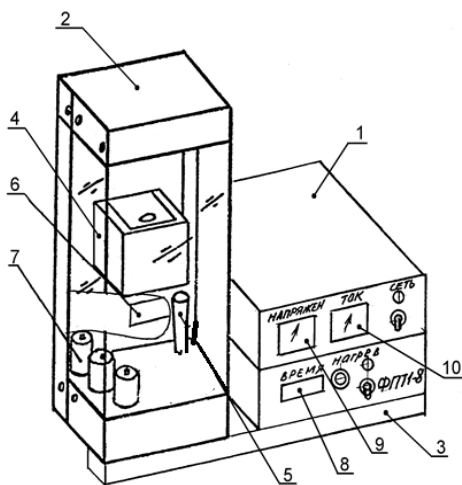


Рис. 1. Установка ФПТ1-8: 1 – блок прибор; 2 – блок рабочего элемента; 3 – стойка; 4 – нагреватель; 5 – рукоятка; 6 – цифровой термометр; 7 – образцы; 8 – секундомер; 9 – вольтметр; 10 – амперметр

А теплоемкость – $C = \frac{dU}{dT} = 3Nk$, что находится в хорошем согласии с законом Дюлонга и Пти для одного моля большинства химически простых веществ при комнатных температурах. То есть молярная теплоемкость

$$C_{\mu} = 3N_A k = 3R = 24,9 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}, \quad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная; N_A – постоянная Авогадро.

При низких температурах теплоемкость твердых тел объясняется на основе теории Дебая.

Для определения теплоемкости твердых тел предназначена установка ФПТ1-8, общий вид которой показан на рис. 1.

Для экспериментального определения теплоемкости исследуемое тело помещается в калориметр, который нагревается электрическим током. Если температуру калориметра с исследуемым образцом очень медленно увеличивать от начальной T_0 на ΔT , то энергия электрического тока пойдет на нагревание образца, калориметра и потери тепла в теплоизоляцию калориметра и в окружающее пространство:

$$J \cdot U \cdot \tau = m_0 \cdot c_0 \cdot \Delta T + m \cdot c \cdot \Delta T + \Delta Q, \quad (3)$$

где J и U – ток и напряжение нагревателя; τ – время нагревания; m_0 и m – массы калориметра и исследуемого образца, c_0 и c – удельные теплоемкости калориметра и исследуемого образца, ΔQ – потери тепла.

Для того чтобы исключить из уравнения (3) теплоту, затрачиваемую на нагревание калориметра, и потери теплоты, необходимо при той же мощности нагревателя нагреть пустой калориметр (без образца) от начальной температуры T_0 на ту же разность температур ΔT . Для этого затрачивается количество теплоты

$$J \cdot U \cdot \tau_0 = m_0 \cdot c_0 \cdot \Delta T + \Delta Q_0. \quad (4)$$

Потери тепла в обоих случаях будут практически одинаковыми и очень малыми, если температура защитного кожуха калориметра в обоих случаях постоянная и равна комнатной. Из уравнений (3) и (4) можно найти количество теплоты, затрачиваемой на нагревание образца

$$m \cdot c \cdot \Delta T = J \cdot U \cdot (\tau - \tau_0), \quad (5)$$

где τ – время нагревания калориметра с образцом, τ_0 – время нагревания пустого калориметра. Измеряя время нагревания пустого калориметра и калориметра с образцом на одну и ту же температуру, можно найти теплоемкость образца по формуле (5). На рис. 2 представлены результаты измерений $(\tau - \tau_0) = f(\Delta T)$. Зависимость линейная. По угловому коэффициенту этой прямой (рис. 2)

$$K_{\alpha} = \frac{m}{J \cdot U} \cdot c$$

были найдены удельные теплоемкости образцов.

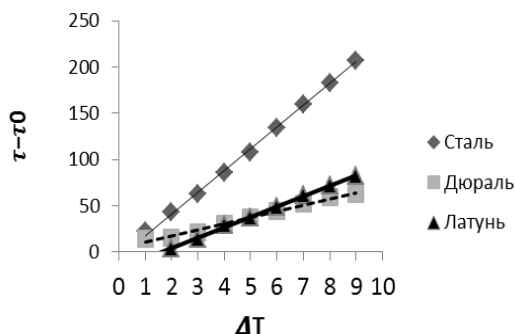


Рис. 2. Зависимость разности времени нагревания пустого калориметра и калориметра с образцом $\tau - \tau_0$ от интервала температур ΔT

Теплоемкость стали равна 672 Дж/кг; теплоемкость дюралю – 584 Дж/кг и теплоемкость латуни – 342 Дж/кг.

Измерения проводились в области температур от 20 до 60°C. В рассмотренной области, близкой к комнатным температурам, теплоемкость металлов является постоянной величиной.

Литература

1. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М.: Наука, 1978. – 792 с.
2. Блейкмор, Дж. Физика твердого тела / Дж. Блейкмор. – М.: Мир, 1988. – 608 с.
3. Савельев, И. В. Курс физики: учеб.: в 3-х т. Т. 1: Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 352 с.

Зыкова А. А., Габдуллин М. Р.

Научный руководитель: Красильникова: С. В., канд. хим. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

М. Планк – один из основателей квантовой физики – пришел к идеям квантования энергии, пытаясь теоретически объяснить процесс взаимодействия между электромагнитными волнами и атомами и, тем самым, разрешить проблему чёрного тела. Его квантовая гипотеза (1900) привела в дальнейшем к представлению о том, что свет испускается и поглощается отдельными порциями – квантами, и нашла свое подтверждение в изучении явления внешнего фотоэлектрического эффекта.

Внешний фотоэффект – явление вырывания электронов из твердых и жидких веществ под действием света. Впервые это явление было обнаружено Г. Герцем (1887), детальное исследование было проведено А. Г. Столетовым (1888-1890). Опытным путем были установлены основные законы внешнего фотоэффекта, которые на тот момент не могли быть объяснены волновой теорией света. А. Эйнштейн (1905), рассматривая проблему возникновения и превращения света, пришел к выводу, что излучение представляет собой поток независимых квантов энергии величиной $h\nu$ каждый. Эти кванты движутся, не делясь на части; они могут поглощаться и испускаться только как целое. Применяв квантовую теорию к явлению внешнего фотоэффекта, Эйнштейн получил уравнение, объясняющее все его законы

$$h\nu = A + \frac{mv_{\text{макс}}^2}{2}, \quad (1)$$

где $h\nu$ – энергия падающего фотона, A – работа выхода электрона, $\frac{mv_{\text{макс}}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Цель данной работы заключалась в определении постоянной Планка и экспериментальной проверке законов внешнего фотоэффекта. Работа выполнялась на приборе с высокочувствительным фотоэлементом (тип 1Р39, цезий) методом против-ЭДС. В комплектацию прибора входили 5 светодиодов (472 нм, 505 нм, 525 нм, 588 нм, 611 нм) с источником

питания, вольтметр для измерения противо-ЭДС и наноамперметр для измерения силы фототока.

Свет, излучаемый светодиодом в сети, проходит через анод кольцевой формы и попадает на катод, вызывая испускание электронов. Появляющийся в результате ток в фотоэлементе измеряется с помощью наноамперметра. Регулируя противо-ЭДС, можно подать задерживающее напряжение U_o , чтобы уменьшить ток до нуля. Так как по задерживающему напряжению можно определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов

$$eU_o = \frac{mv_{\text{макс}}^2}{2}, \quad (2)$$

то, используя уравнение (1), можно уравнение (2) записать в виде:

$$eU_o = h\nu - A. \quad (3)$$

Используемые светодиоды имеют узкий спектр излучения, которые соответствуют вполне определенным длинам волн. Частота излучения определяется по формуле $\nu = \frac{c}{\lambda}$, где c – скорость света. Построив график зависимости $eU_o = f(\nu)$, можно определить постоянную Планка по тангенсу угла наклона прямой (рис. 1):

$$h = \frac{\Delta(eU_o)}{\Delta\nu}.$$

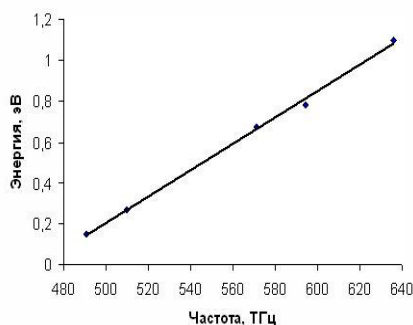


Рис. 1. Зависимость максимальной кинетической энергии электронов от частоты излучения

Полученное значение постоянной Планка $h = 6,68 \cdot 10^{-34}$ Дж·с достаточно близко к теоретическому значению. Также в работе можно проверить закон внешнего фотоэффекта, согласно которому максимальная

кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности света, а определяется его частотой. Изменяя яркость светодиода от 0% до 100%, получим график зависимости максимальной кинетической энергии от яркости света для различных частот излучения (рис. 2).

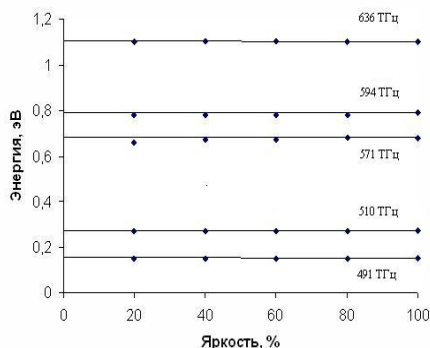


Рис. 2. Зависимость максимальной кинетической энергии электронов от яркости света при различных частотах излучения

Как видно из графика, энергия вырванных фотоэлектронов не зависит от интенсивности света, а определяется только его частотой.

УДК 535.33

Иванова Л. С., Тришина Е. В.

Научный руководитель: Кожина Г. Ю., канд. физ.-мат. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЛАМП С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА

Аннотация. Изучена работа цифрового спектрометра высокого разрешения U22029, оценены возможности измерительной установки и программного обеспечения, получены спектры излучения различных ламп, применяемых при освещении помещений, проведен их анализ.

Ключевые слова: цифровой спектрометр высокого разрешения, линейчатые спектры, лампы накаливания, светодиодные лампы, люминесцентные лампы, галогенные лампы.

Целью нашей работы является ознакомление с принципом работы цифрового спектрометра высокого разрешения U22029, оценка возможностей измерительной установки и предоставляемого программного обеспечения, а также получение спектров излучения различных ламп, применяемых при освещении помещений, их анализ и сопоставление с теоретическими данными.

Измерительная установка состоит из цифрового спектрометра, нескольких газоразрядных трубок, наполненных газами различных химических элементов, и блока питания разрядных трубок. Основное предназначение прибора заключается в количественном анализе спектров излучения и поглощения, регистрации кривых пропускания и использовании его для измерений в калориметрии и кинетике. Проходящий свет из оптоволоконного кабеля разлагается на спектр монохроматором Черни-Тернера и проецируется на ПЗС-датчик. Программное обеспечение измерения и оценки запускается автоматически при подключении датчика к компьютеру через USB-кабель.

При запуске установки на экране появляется окно интерфейса пользователя в режиме работы «Emission» (испускание), и измеряемые значения сразу же регистрируются. Данный режим («Emission») позволяет определить спектр излучения источников света (например, непрерывный спектр солнца или лампы накаливания). Спектрометр обладает преимуществом за счет коррекции чувствительности, которая позволяет расшифровать реальный спектр, а не спектр, модулированный по чувствительности прибора к разной длине волны.

Пользователю доступны также следующие режимы работы:

- «Absorbance» (оптическая плотность, «поглощение»): позволяет измерять интенсивность принятого света, пересекающего образец (кювету или фильтр);
- «Manual acquisition» (ручной сбор данных): можно использовать для проверки закона Бэра-Ламберта;
- «Kinetic» (динамика): применяется для исследования медленных реакций, вызывающих изменение цвета раствора;
- «3D Kinetic» (пространственная динамика): в дополнение к вкладке «Kinetic» дает возможность отслеживания изменений в химической реакции на всех длинах на протяжении длительного интервала времени.

Для выбора любого из этих режимов работы достаточно кликнуть по нужному режиму в левой части окна.

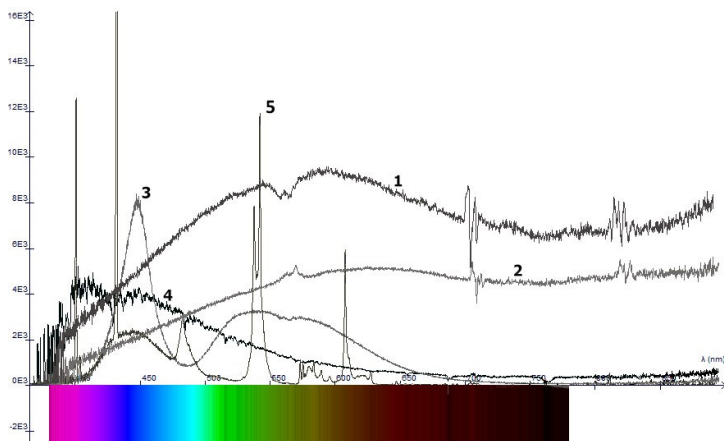
Перед выполнением измерений в четырех вышеперечисленных режимах пользователю необходимо выполнить калибровку (команда Calibration).

Программа позволяет управлять отображением измерений в реальном времени с помощью кнопки «Run/Pause», а также сохранять полученную кривую (кнопка «Save») и присваивать ей имя, причем на дисплей можно вывести несколько сохраненных кривых. Одной из важных функций является функция регулировки времени интегрирования. Увеличение времени интегрирования увеличивает интенсивность, но смещает ноль и усиливает помехи.

В нашей работе мы получали спектры излучения различных источников света в режиме «Emission». Измерения проводились в темном помещении во избежание помех со стороны других источников света. Показания для естественного света снимались через стеклянное окно в пасмурную погоду.

Для исследования были взяты лампа накаливания мощностью 60 Вт, светодиодная лампа (естественно-белый свет) мощностью 4 Вт, люминесцентная лампа (дневной свет) мощностью 15 Вт и галогенная лампа мощностью 10 Вт.

Полученные при выполнении работы спектральные данные представлены на рисунке.



Спектральные данные: 1 – галогенная лампа, 2 – лампа накаливания, 3 – светодиодная лампа, 4 – естественный свет, 5 – люминесцентная лампа

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. по спектру излучения к естественному свету наиболее близки лампы накаливания и галогенная лампа (кривые 1 и 2). Однако существенным недостатком этих ламп является то, что они сильно нагреваются во время работы. Этот недостаток можно отследить и по спектру: в инфракрасной области наблюдается постепенное нарастание интенсивности излучения.

2. спектр светодиодных ламп (кривая 3) имеет выраженный максимум в области длин волн около 450 нм, предшествующий минимуму в области около 480 нм. Можно видеть, что данные лампы практически не нагреваются, как это происходит с лампой накаливания и галогенной лампой.

3. люминесцентные лампы (кривая 5) имеют линейчатый спектр, совершенно отличный от спектра естественного света, что объясняется существенным различием в механизме излучения лампы. Наблюдаемые пики – линии спектра – характерны для спектра испускания ртути.

В заключение следует отметить, что данная измерительная установка имеет широкие возможности для спектрального анализа, чем мы и воспользовались в нашей работе, поэтому ее следует применять как при проведении работ лабораторного практикума по физике, так и в исследовательских работах.

УДК 543.429.23

Иванова М. С.

Научные руководители: Грунин Л. Ю., канд. хим. наук, доцент;

Целищева Л. В., канд. техн. наук, доцент

Поволжский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ УПАКОВКИ МАКРОМОЛЕКУЛ ПОЛИЭТИЛЕНА В ПРОЦЕССЕ НАБУХАНИЯ В ОКТАНЕ ПРИ ПОМОЩИ ЯМР-РЕЛАКСАЦИИ

***Аннотация.** Изучена структура полиэтилена разной плотности в результате химической обработки при помощи ЯМР-релаксации.*

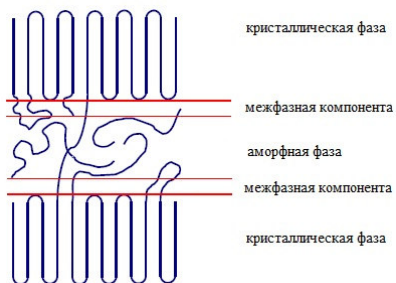
***Ключевые слова:** ЯМР-релаксация, полиэтилен, химическая обработка, октан.*

Полимеры уже многие годы являются объектом физического и химического исследования, что обусловлено, прежде всего, увеличением объема и расширением номенклатуры выпускаемой продукции.

К настоящему времени значительно интенсифицировались исследования обширной группы карбоцепных полимеров, на основе которых можно получить наиболее ценные материалы – синтетические каучуки, пластмассы, волокна, пленки и т. д. Макромолекулы данного класса имеют скелет, построенный из атомов углерода.

Типичным представителем является полиэтилен. В последнее время выпускаются различные сорта полиэтилена, отличающиеся плотностью и молекулярно-массовым распределением.

В классической трехкомпонентной модели полиэтилена рассматриваются кристаллическая (жесткая) и аморфная (подвижная) фазы, разделенные межфазной (полужесткой) компонентой (рисунок).



Схематическое изображение классической модели полиэтилена

Методы оценки кристалличности полиэтиленов довольно хорошо развиты, сложнее исследовать некристаллическую часть полиэтилена. Кристаллическая фаза образована тонкими пластинчатыми кристаллами, расположенными в стопках с аморфными слоями между отдельными пластинками [1].

С целью изучения аморфной составляющей полиэтилена разной плотности (образцы были предоставлены LyondellBasell) был поставлен эксперимент по сорбции низкомолекулярного углеводорода – октана – на поверхности его пор. Образцы полимеров в пробирке подвергались воздействию данного органического растворителя, который постепенно проникал в полимерный образец и вызывал его набухание.

P. Schneider [2] представляет данные по временам спин-спиновой (поперечной) релаксации T_2 , полученные в результате проведения экс-

перимента по сорбции гексена-1 на поверхности пор полиэтилена разной плотности. Проанализировав, приходит к выводу: органический растворитель не влияет на кристаллическую фазу и абсорбируется в аморфной, в результате чего увеличивается подвижность аморфных сегментов. Целью данной исследовательской работы является подтверждение выдвинутой автором [2] гипотезы.

Измерения ^1H -ЯМР-релаксационных параметров были выполнены на релаксометре «Спин Трэк» (ООО «Резонансные системы», Йошкар-Ола, Россия) [3]. Для измерения времен релаксации T_1 и T_2 были использованы импульсные последовательности « $90^\circ - \tau - 90^\circ$ » и SEPS, соответственно [2]. Оценка времени релаксации T_1 необходима для установки времени повторения, которое должно быть не менее $5T_1$.

Построение графиков и обработка данных осуществлялась при помощи пакета программ Microcal Origin 7.0. Аппроксимация сигнала спада свободной индукции выполнялась при помощи функции:

$$y = y_0 + A_l * \exp\left(-\frac{x}{T_{2l}}\right) + A_m * \exp\left(-\left(\frac{x}{T_{2m}}\right)^2\right) + A_s * \exp\left(-\left(\frac{x}{T_{2s}}\right)^2\right) * \cos(6.28 * b * x). \quad (1)$$

Эта функция состоит из трех слагаемых, соотносящихся с кристаллической (s), аморфной (m) и низкомолекулярной – жидкой (l) фазами образца. В приведенном выражении (1) амплитуды A_s , A_m характеризуют протонную населенность кристаллической и аморфной областей полиэтилена, а A_l – протонную населенность абсорбированного октана. Параметрами T_{2l} , T_{2m} , T_{2s} обозначены времена спин-спиновой (поперечной) релаксации жидкой, аморфной и кристаллической компонент, соответственно [4].

Экспериментальные данные представлены в таблице. Полученные результаты хорошо согласуются с данными, представленными в [2]. Как видно из таблицы, значение T_{2m} увеличивается с уменьшением кристалличности полиэтилена, что указывает на увеличение размеров свободных аморфных областей. Об этом свидетельствует и увеличение амплитуд A_m , связанных с протонной населенностью аморфных областей. Связано это с тем, что органический растворитель абсорбируется в аморфной фазе, и начинаются обратимые морфологические изменения, включая растяжение полимерных цепей. Изменения, возникающие в результате эффекта набухания, увеличивают подвижность аморфных сегментов цепи. Изменение подвижности цепей отражается как изменение времени релаксации T_2 [2].

Экспериментальные данные

	Плотность, кг/м ³					
	945		920		900	
	обр.	обр.+окт.	обр.	обр.+окт.	обр.	обр.+окт.
A _l , отн. ед.	0,0598	0,3255	0,1558	0,3926	0,4099	0,4904
A _m , отн. ед.	0,2322	0,2589	0,2364	0,2963	0,1319	0,3443
A _s , отн. ед.	0,6748	0,3771	0,5744	0,2888	0,4078	0,1443
T _{2s} , мс	100,2482	400,9976	113,8469	440,2897	152,1153	423,7930
T _{2m} , мс	36,1759	100,7873	47,6817	123,0049	62,8527	93,0998
T _{2s} , мс	13,9153	10,6617	13,5535	12,2266	12,2785	12,1932

При внесении органического растворителя в полиэтилен видим, что время релаксации T_{2s} всех образцов уменьшается. А это значит, что октан увлекает сложенные в кристаллические пластинки цепи в аморфную фазу. Уменьшение амплитуд A_s всех образцов также свидетельствует о переходе части кристаллической фазы в аморфную [2].

Таким образом, полученные результаты согласуются с современными представлениями о структуре упаковки макромолекул полиэтилена и подтверждают, что органический растворитель лишь косвенно изменяет долю кристаллической фазы и поглощается в аморфной, в результате чего увеличивается подвижность аморфных сегментов цепи полимера.

Литература

1. Chmelar, J. Free and constrained amorphous phases in polyethylene: Interpretation of ¹H NMR and SAXS data over a broad range of crystallinity / J. Chmelar et al // Polymer. – 2015. – 58. – P. 189-198.
2. Schneider, P. Low-field NMR for studying relaxation dynamics of hetero-phase polymers / P. Schneider // 2016.
3. Resonance Systems Ltd [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nmr-design.com>, свободный. Язык русский.
4. Грунин, Л. Ю. Изучение структуры целлюлозы в процессе адсорбции воды при помощи ЯМР - релаксации и спиновой диффузии / Л. Ю. Грунин и др. // Биофизика. – 2017. – Т. 62, вып. 2. – С. 266-275.

Ишеналиев К. Р., Нурбеков Ш. Н., Дженбаев А. А.
 Научные руководители: Гогелашвили Г. Ш., канд. хим. наук, доцент;
 Целищева Л. В., канд. техн. наук, доцент
 Поволжский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Аннотация. Определены основные магнитные характеристики ферромагнетиков: изучена зависимость магнитной индукции B в веществе от напряженности H внешнего магнитного поля; исследована зависимость магнитной проницаемости μ от напряженности магнитного поля H .

Ключевые слова: ферромагнетики, физические свойства.

Среди множества веществ, которые способны намагничиваться в магнитном поле, особый класс образуют вещества, для которых характерно магнитоупорядоченное состояние в отсутствие внешнего магнитного поля. Такие вещества, обладающие самопроизвольной намагниченностью в определенном температурном интервале в отсутствие внешнего магнитного поля, называют ферромагнетиками. К ним относятся: железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni), редкоземельные материалы: гадолиний (Gd), тербий (Tb), диспрозий (Dy), гольмий (Ho), эрбий (Er), а также многочисленные сплавы и соединения упомянутых металлов между собой и с другими неферромагнитными элементами. Изучение особенностей ферромагнитных материалов имеет большое научное и прикладное значение. Они играют важную роль в самых различных областях современной техники: так, магнитомягкие материалы используются в электротехнике при изготовлении трансформаторов, электромоторов, генераторов, в слаботочной технике связи и радиотехнике, а магнито жесткие материалы применяются при изготовлении постоянных магнитов.

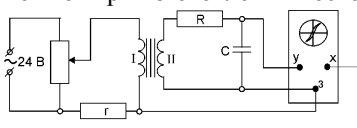


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Переменный ток в первичной обмотке трансформатора создает намагничивающее поле с индукцией:

$$B_0 = \mu_0 n_1 I_1, \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; n_1 – число витков на единицу длины первичной обмотки; I_1 – сила тока в обмотке. Падение напря-

жения на сопротивлении r пропорционально индукции намагничивающего поля:

$$U_x = r \cdot I_1 = \frac{r}{\mu_0 \cdot n_1} \cdot B_0. \quad (2)$$

Это напряжение подается на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа. Во вторичной обмотке трансформатора возбуждается ЭДС индукции:

$$\varepsilon_{инд} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \cdot S \cdot \frac{dB}{dt}, \quad (3)$$

где N_2 – общее число витков вторичной обмотки; S – площадь сечения сердечника трансформатора. Таким образом, напряжение во вторичной

обмотке пропорционально производной $\frac{dB}{dt}$. Чтобы подать на вертикально отклоняющие пластины напряжение, пропорциональное индукции в ферромагнетике B , необходимо включить между вторичной обмоткой и входом «У» осциллографа интегрирующую цепочку. Интегрирование проще всего осуществить с помощью резистора и конденсатора (RC – ячейка) при условии $RC \gg T$, где T – период изменения ЭДС индукции.

Рассмотрим действие интегрирующей цепочки. По второму правилу Кирхгофа для цепи, включающей вторичную обмотку трансформатора,

можно записать: $\varepsilon_{инд} = I_2 R + I_2 R_k + L \cdot \frac{dI_2}{dt} + U_c$, где I_2 , R_k и L – сила тока, сопротивление и индуктивность вторичной обмотки трансформатора; U_c – падение напряжения на конденсаторе. Если величина R

достаточно велика, так что $I_2 R \gg I_2 R_k + L \cdot \frac{dI_2}{dt} + U_c$, то

$\varepsilon_{инд} \approx I_2 R$, откуда с учетом (2):

$$I_2 = \frac{\varepsilon_{инд}}{R} = -\frac{N_2 \cdot S}{R} \cdot \frac{dB}{dt}. \quad (4)$$

Напряжение на конденсаторе $U_c = U_y = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \cdot \int I_2 dt$, здесь q – заряд на обкладках конденсатора. Откуда, подставляя I_2 из формулы (4), для напряжения на входе «У» осциллографа U_y получим:

$$U_y = \frac{N_2 \cdot S}{R \cdot C} \cdot B + const, \quad (5)$$

т. е. U_y пропорционально B . По формулам (2) и (5) можно рассчитать значения B_0 и B :

$$B_0 = k_x \cdot x, \text{ где } k_x = \frac{\mu_0 \cdot n_1}{r} \cdot C_x, \quad B = k_y \cdot y, \text{ где } k_y = \frac{R \cdot C}{N_2 \cdot S} \cdot C_y. \quad (6)$$

Результаты исследования представлены на графиках (рис. 2 и 3), которые и подтверждают теоретические данные $B(H)$ и $\mu(H)$.

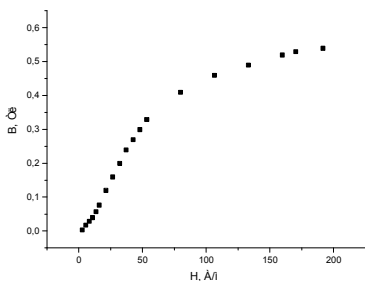


Рис. 2. Зависимость индукции магнитного поля от напряженности

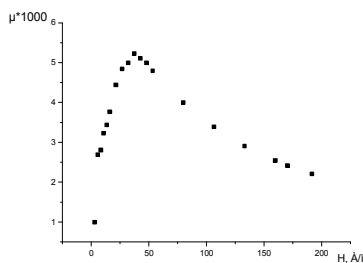


Рис. 3. Зависимость магнитной проницаемости вещества от напряженности магнитного поля

Ферромагнетики – вещества, которые даже в отсутствии магнитного поля могут обладать самопроизвольной намагниченностью. Ферромагнетики состоят из отдельных областей – доменов, в которых магнитные моменты атомов ориентированы в одну сторону, т. е. каждый домен намагничен и имеет макроскопический магнитный момент. При отсутствии магнитного поля магнитные моменты различных доменов ориентированы хаотически, так что результирующий магнитный момент всего тела чаще всего равен нулю. Внешнее магнитное поле ориентирует магнитные моменты доменов преимущественно по направлению поля, так что ферромагнетик в магнитном поле приобретает магнитный момент (намагничивается). В связи с таким «доменным» строением ферромагнетики обладают рядом свойств, отличающих их от парамагнетиков и диамагнетиков [1]:

1. ферромагнетики очень сильно намагничиваются, т. е. магнитная проницаемость ферромагнетиков может достигать очень больших величин, порядка десятков и сотен тысяч;
2. зависимость вектора намагничивания J от напряженности магнитного поля H (а следовательно, и индукции магнитного поля B от H) характеризуется нелинейностью (рис. 2);

3. магнитная проницаемость μ зависит от H . Нелинейная зависимость магнитной проницаемости μ от напряженности поля приводит к тому, что и зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля нелинейна (рис. 3).

Литература

1. Магнетизм: лабораторный практикум / Л. А. Григорьев, Г. Н. Аврамчик, А. С. Масленников [и др.]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. – С. 49-62.

УДК 539.1:002.8

Муминов Нодиржон

Научный руководитель: Кречетова И. В., старший преподаватель
Поволжский государственный технологический университет

ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Аннотация. *Представлен анализ по проблеме утилизации радиоактивных отходов в России и США.*

Ключевые слова: *РАО, хранилища для отработанного ядерного топлива, Губа Андреева, Хэнфордский комплекс, МАГАТЭ.*

До недавнего времени была принята практика долговременного хранения отходов и отложенного решения вопросов их окончательной изоляции. Именно поэтому решение проблем ядерного наследия и обеспечение ядерной и радиационной безопасности населения и окружающей среды на тысячелетия – серьезная техническая, экономическая, а главное, эколого-социальная задача.

Широкое применение атомной энергии в науке, промышленности и повседневной жизни человека сопровождается образованием радиоактивных отходов (РАО). При этом стоит учитывать, что основной объем накопленных РАО образовался в результате реализации ядерных оружейных программ СССР и США. Кроме того, серьезной задачей становится необходимость окончательной изоляции РАО, образующихся в результате производственной деятельности предприятий и вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии [3].

Цель работы: изучить проблему утилизации радиоактивных отходов двух мировых держав – России и США.

При этом были поставлены следующие *задачи*:

1) обобщить и проанализировать ситуацию с организацией и проблемами захоронения РАО;

2) ориентироваться в потоке научно-технической информации.

В 2005 году Российская Федерация подписала и ратифицировала Объединенную конвенцию МАГАТЭ о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, а затем был принят и в июне 2011 года вступил в силу Федеральный закон №190 «Об обращении с радиоактивными отходами», законодательно закрепивший принцип обязательного захоронения радиоактивных отходов.

Обязательным первоначальным этапом сооружения объектов глубокого захоронения РАО является создание подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) для обоснования безопасности захоронения (Рекомендации МАГАТЭ). После этапа эксплуатации ПИЛ в проект могут быть внесены изменения, например, по классу опасности размещаемых отходов. Особым видом являются жидкие технологические радиоактивные отходы, содержащие радионуклиды в результате деятельности оборонной или атомной промышленности, при эксплуатации атомного флота [2].

Росатом, используя нормы закона, принял решение об окончательном захоронении практически всех РАО. Для этих целей в России создается единая государственная система по обращению с радиоактивными отходами – ЕГС РАО. Под эгидой Росатома создан национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами (НО РАО).

27 июня 2017 года был введен в эксплуатацию промышленный комплекс, предназначенный для извлечения отработанного ядерного топлива из хранилищ базы на Губе Андреева. Ядерные отходы будут отправляться на переработку и захоронение в Челябинскую область на комбинат «Маяк». Средства для финансирования проекта в объеме около 100 млн. долл. США выделил международный консорциум под эгидой Европейского банка реконструкции и развития. Предполагаемый срок полной очистки хранилищ составляет 5 лет [4].

Начиная с 2009 года, в США имеется сто четыре энергетических атомных реактора, а также ряд вспомогательных установок обслуживания реакторов, много гражданских и военных исследовательских ядерных установок.

Отходы с долгоживущими радионуклидами загружаются во временные хранилища отходов на длительный срок. Радиоактивные отходы

низкого уровня активности размещаются в приповерхностных хранилищах, которые расположены на глубине (30-40) метров. Отработанное ядерное топливо из исследовательских реакторов, а также из энергетических реакторов планируется размещать для захоронения в глубоких геологических формациях.

В США на протяжении многих лет проводятся исследования в отношении стабильности соляных формаций или их способности изолировать в случае выброса радионуклидов после окончательного захоронения военных ядерных отходов на заводах [1].

Одной из главных проблем, связанных с захоронением отходов в США, является то, что частные организации некоторых штатов, которые производят отходы, вынуждены сами организовать длительное захоронение этих отходов. Были случаи, когда хранилища не были лицензированы из-за несоответствия требованиям безопасности. Также велик риск обрушений конструкций хранилищ ввиду их строительства в природной среде. Так, 9 мая 2017 года в Хэнфордском комплексе было объявлено чрезвычайное положение в связи с обрушением насыпи над одним из двух подземных железнодорожных тоннелей, где хранятся вагоны, нагруженные оборудованием, загрязненным при производстве плутония. Они загрязнены как по изотопам плутония и америция, так и по изотопам ^{137}Cs и ^{90}Sr . Кроме того, в отходах присутствуют барий, кадмий, хром, свинец, ртуть, серебро и соли серебра, масла и другие вещества. Суммарную активность приблизительно оценивают в 20-30 тысяч кюри в тоннеле № 1, в тоннеле № 2 – более 500 тысяч кюри.

В настоящее время Хэнфордский комплекс является крупнейшим в США местом захоронения радиоактивных отходов. Хотя основная деятельность на территории комплекса касается захоронения отходов, тут же расположена Колумбийская АЭС и ряд научно-исследовательских организаций [5].

Выводы.

1. Проблема усугубляется тем, что количество отходов из года в год увеличивается. Российское и американское законодательство разрешают захоранивать РАО в природной среде, что требует обеспечения надежной охраны окружающей среды.

2. Сделан анализ по проблеме утилизации РАО в России и США.

Литература

1. Американцы придумали новую технологию переработки ОЯТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publicatom.ru/blog/rosrao/2426.html>.

2. Жидкие радиоактивные отходы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/919261>.
3. Егоров, Д. Обеспечим безопасность России в области обращения с радиоактивными отходами Росатом [Электронный ресурс] / Д. Егоров. – Режим доступа: www.rosatom.ru.
4. Губа Андреева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Губа_Андреева.
5. Хэнфордский комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Хэнфордский_комплекс.

УДК 531.76:006.92

Нашенкина М. С., Кузякина А. А.

Научный руководитель: Ладычук Д. В., канд. хим. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ВЫСОКОТОЧНЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Аннотация. *Описаны методы и рассмотрены физические принципы работы высокоточных приборов для измерения времени.*

Ключевые слова: *молекулярные часы, атомные цезиевые часы, водородный квантовый генератор, эффекты Доплера и Зеемана.*

Для измерения интервалов времени раньше использовались механические системы (маятниковые часы), работа которых основана на механических колебаниях, однако данные приборы имели довольно низкую точность. В современных высокоточных устройствах используются эффекты из молекулярной, квантовой и атомной физики.

В молекулярных часах в качестве стандарта частоты и времени используются молекулы аммиака. Их показания, в конечном счете, определяются частотой электромагнитных колебаний, поглощаемых и испускаемых молекулами, для одного из основных переходов она составляет $2,4 \cdot 10^{11}$ Гц. В длинную металлическую спиральную трубку (волновод) помещается аммиачный газ. К одному концу волновода подводятся высокочастотные электромагнитные колебания, а к другому – детектор, измеряющий их интенсивность.

Генератор позволяет в некоторых пределах менять частоту возбуждаемых им электромагнитных колебаний. Пока частота электромагнитных колебаний, вырабатываемых генератором, больше или меньше этой

резонансной частоты, молекулы аммиака энергии не поглощают. При совпадении этих частот значительное число молекул аммиака поглощает электромагнитную энергию и переходит в возбужденное состояние. При этом (в силу закона сохранения энергии) у того конца волновода, где установлен измерительный прибор, интенсивность электромагнитных колебаний оказывается меньше. При плавном изменении частоты генератора и записи показаний измерительного прибора на резонансной частоте обнаруживается провал интенсивности электромагнитных колебаний. Все связанные между собой приборы – генератор, умножитель, волновод с аммиачным газом, дискриминатор и детектор – представляют собой цепь обратной связи, в которой молекулы аммиака возбуждаются генератором и в то же время управляют им, заставляя его вырабатывать колебания нужной частоты. Нестабильность хода составляет около 10^{-8} . Недостаток данных часов – размытость кривой поглощения вследствие эффекта Доплера [1, 2]. Он проявляется в том, что часть молекул аммиака движется навстречу электромагнитной волне (к источнику) – их частота выше вырабатываемой генератором, а другая часть – от приходящей электромагнитной волны (от источника) – их частота ниже.

Исключение эффекта Доплера при измерениях возможно при использовании атомно-лучевых цезиевых часов.

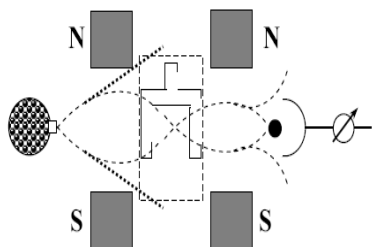


Рис. 1. Схема цезиевого квантового стандарта частоты

Их действие основано на эффекте Зеемана [1, 2] – расширении уровней энергии атомов в магнитном поле. Главная часть цезиевого стандарта частоты – атомно-лучевая трубка, внутри которой находятся электрическая печь, детектор, коллиматор, волновод и 2 магнита (рис. 1) [3]. Пары цезия вылетают с источника, формируя слабо расходящийся пучок, и движутся к детектору, состоящему из раскаленной вольфрамовой нити и коллектора.

В результате происходит поверхностная ионизация атомов, в цепи возникает электрический ток, его величина пропорциональна интенсивности пучка. На пути к детектору поле первого магнита H_1 расщепляет атомный пучок на 16 частей, по семь из них движутся к полюсам первого магнита (их энергия меняется), а два остаются неотклоненными и попадают в поле второго магнита H_2 . Оно направляет на детектор лишь атомы с энергиями, соответствующим двум уровням E_1 и E_2 . Между полями магнитов атомы пролетают через волновод (резонатор), в котором возникают

электромагнитные колебания, частота которых соответствует переходам между двумя уровнями $E_1 \leftrightarrow E_2$. В случае энергетического перехода поле второго магнита H_2 отклоняет атомный пучок от детектора, его ток уменьшается на величину, пропорциональную количеству атомов, совершивших переход. Оно максимально при совпадении частот электромагнитного поля и атомного перехода. Частота максимума спектральной линии $I(\omega)$, соответствующая резонансу, является реперной точкой и соответствует 9192631770 периодов в секунду. Уширение спектральной линии вследствие влияния времени взаимодействия атомов с электромагнитным полем резонатора ограничивает точность (10^{-12}), однако это затруднение преодолевается при использовании резонатора измененной (П-образной) формы.

Увеличения точности измерения интервалов времени можно достигнуть с помощью молекулярных генераторов – приборов, в которых используется излучение молекулами электромагнитных волн.

Водородный квантовый генератор – устройство, в котором атомы водорода из источника попадают в установку в виде узкого пучка (рис. 2) [3]. Далее этот пучок пролетает между полюсными наконечниками многополюсного магнита, неоднородное поле которого фокусирует к оси

пучка атомы, находящиеся в возбужденном состоянии, и разбрасывает атомы, пребывающие в основном состоянии. Возбужденные атомы влетают через отверстие в кварцевую колбу, находящуюся внутри объемного резонатора, в котором возбуждается электромагнитное поле с частотой, соответствующей переходу возбужденных атомов в

основное состояние. Излученные фотоны длительное время остаются в резонаторе, что создает обратную связь, необходимую для самовозбуждения квантового генератора. Возбужденные атомы водорода скапливаются в колбе, их среднее время жизни увеличивается до 1 с, чем достигается стабильность возбуждения генерации. Вследствие эффекта Доплера хаотичное движение атомов не приводит к уширению спектральной линии, она представляет собой пик шириной $\Delta\omega=1$ Гц, что обеспечивает малую погрешность водородного генератора. Кратковременная нестабильность составляет $\sim 2 \cdot 10^{-14}$.

Между тем ряд исследований последних лет показали, что эта столь высокая точность измерения интервалов времени, достигнутая на основе

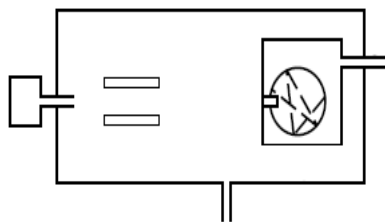


Рис. 2. Схема водородного квантового генератора

атомно-лучевых генераторов, еще не является предельной и может быть повышена.

Литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М.: Academia, 2008. – 557 с.
2. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Academia, 2009. – 719 с.
3. Полуниин, В. М. Физические основы измерений: конспект лекций / В. М. Полуниин. – Курск.: КГТУ, 2004. – 261 с.

УДК 537.6/8

Петьков В. А., Гилязов Т. Р.

Научный руководители: Целищева Л. В., канд. техн. наук, доцент;

Гогелашвили Г. Ш., канд. хим. наук, доцент

Поволжский государственный технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ГЕНЕРАТОРОВ СВЧ ДИАПАЗОНА

Аннотация. Показано применение сверхвысокочастотного излучения и генераторов СВЧ диапазона.

Ключевые слова: сверхвысокочастотное излучение, генераторы СВЧ диапазона.

Сверхвысокочастотное излучение – вид неионизирующих излучений, который характеризуется частотой электромагнитных колебаний от $3 \cdot 10^8$ до $3 \cdot 10^{11}$ Гц и длиной волны от 1 метра до 1 миллиметра, расположенный в спектре между ультравысокими телевизионными частотами и частотами дальней инфракрасной области. Поскольку по длине волны излучение СВЧ-диапазона является промежуточным между световым излучением и обычными радиоволнами, то оно обладает свойствами как света, так и радиоволн. При этом сходство СВЧ-излучения со светом и повышенная плотность переносимой им информации способствует развитию радиолокационной и других областей техники. В то же время СВЧ-излучение сходно с радиоизлучением вещательных диапазонов в том отношении, что оно генерируется аналогичными методами и к нему применима клас-

сическая теория радиоволн. В настоящее время в сверхвысокочастотном диапазоне работает большинство систем радиосвязи, радиолокации, радионавигации и радиометеорологии. Благодаря более высоким частотам СВЧ-излучение дает более широкие возможности передачи информации, повышая эффективность связи (один СВЧ-луч может нести одновременно несколько сотен телефонных разговоров). СВЧ-излучение применяется в мобильной радиосвязи, радио-навигации, радиометрии, беспроводных компьютерных сетях и т. д. В настоящее время созданы и используются различного типа генераторы и усилители электромагнитного излучения с различными принципами их работы и характеристиками. Любой генератор излучения включает источник питания, активный элемент, колебательную систему и цепь обратной связи [1].

СВЧ электроника – область науки и техники, в пределах которой исследуются и используются в СВЧ приборах явления взаимодействия заряженных частиц и электромагнитного поля. Как известно, вокруг рассматриваемого источника электромагнитного излучения формируется электромагнитное поле, которое состоит из переменных электрического и магнитного полей. При этом различают две зоны этого поля: зона несформировавшейся волны (ближняя зона, или поле индукции, или поле стоячей волны) и зона сформировавшейся волны (дальняя зона, или поле излучения, или поле бегущей волны). Наибольший интерес представляет зона сформировавшейся волны, поскольку ближняя зона ограничивается лишь расстоянием в две длины волны и интенсивность электромагнитного излучения в этой зоне оценивается количеством энергии, падающей на единицу поверхности. От величины волны зависит ее проникающая способность, которая составляет примерно $1/10$ длины, при этом глубина проникновения электромагнитного излучения в поверхность тем меньше, чем короче длина волны, а поглощение энергии поверхностью, наоборот, увеличивается с уменьшением длины волны. СВЧ-излучение играет важную роль в исследовании электронных свойств твердых тел. Так, при помещении тела в магнитное поле свободные электроны в нем начинают вращаться вокруг магнитных силовых линий в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля, при этом частота вращения, называемая циклотронной, прямо пропорциональна напряженности магнитного поля и обратно пропорциональна эффективной массе электрона (эффективная масса определяет ускорение электрона под воздействием какой-либо силы в кристалле, при этом она отличается от массы свободного электрона, которой определяется ускорение электрона под действием какой-либо силы в вакууме; данное различие обусловлено наличием сил притяжения и отталки-

вания, с которыми действуют на электрон в кристалле окружающие атомы и соседние электроны). Такое явление называется циклотронным резонансом; оно позволяет измерить эффективную массу электрона и получить ценную информацию об электронных свойствах полупроводников, металлов и металлоидов. Излучение СВЧ-диапазона применяют для исследования космического пространства, позволяя измерять скорость и определять направление движения рукавов Галактики, а также расположение и плотность областей газообразного водорода в космосе.

Быстрый прогресс в области СВЧ-техники в большей мере связан с изобретением специальных электровакуумных приборов – магнетрона и клистрона, способных генерировать большое количество СВЧ-энергии. Отметим, что генераторы на обычном вакуумном триоде, используемые на низких частотах, в СВЧ-диапазоне оказываются малоэффективными. Основными недостатками триода как СВЧ-генератора являются конечное время пролета электрона и межэлектродная емкость. Первый недостаток связан с тем, что электрону требуется определенное время, чтобы пролететь между электродами вакуумной лампы, за которое СВЧ-поле успевает изменить свое направление на обратное, так что и электрон вынужден повернуть обратно, не долетев до другого электрода. В результате чего электроны без всякой пользы колеблются внутри лампы без передачи энергии в колебательный контур внешней цепи. Электроника СВЧ принципиально отличается от «обычной» (низкочастотной) электроники целым рядом характерных моментов. Одна из особенностей электронных приборов СВЧ диапазона заключается в том, что сам прибор составляет единое целое с колебательными системами и рассмотрение принципа действия электронных приборов СВЧ, их параметров и характеристик невозможно в отрыве от колебательных систем, которые отличаются от резонансных систем, используемых в диапазоне длинных и средних волн. Принцип работы магнетрона базируется на принципе объемного резонатора, стенки которого являются индуктивностью, а пространство между стенками – емкостью резонансной цепи. Размеры данного элемента выбирают по необходимой резонансной сверхвысокой частоте, которая соответствовала бы нужным соотношениям между емкостью и индуктивностью. Размер генератора напрямую влияет на мощность излучения. С созданием электронных приборов СВЧ оказалось возможным развитие новых областей не только техники и науки, но и тех областей ядерной физики, которые связаны с применением ускорителей. Диапазон миллиметровых и субмиллиметровых волн представляет большой интерес для биологических и медицинских наук, поскольку спектры белковых молекул лежат в этих диапазонах. СВЧ-излучение применяется для термообработ-

ки пищевых продуктов и в пищевой промышленности (энергия, генерируемая мощными электронными лампами, может быть сконцентрирована в малом объеме для высокоэффективной тепловой обработки продуктов). Дальнейшее развитие науки и техники предусматривает разработку и введение новых и совершенствование уже существующих СВЧ устройств и систем передачи информации.

Литература

1. Техника и полупроводниковая электроника СВЧ: учебное пособие [Электронное издание] / О. О. Дробахин, С. В. Плаксин, В. Д. Рябчий и др. – Севастополь: Вебер, 2013. – 322 с.

УДК 537.31

Уктамов А. З., Косимов Ф. И., Солиев Ф. Ф.

Научные руководители: Гогелашвили Г. Ш., канд. хим. наук, доцент;

Целищева Л. В., канд. техн. наук, доцент

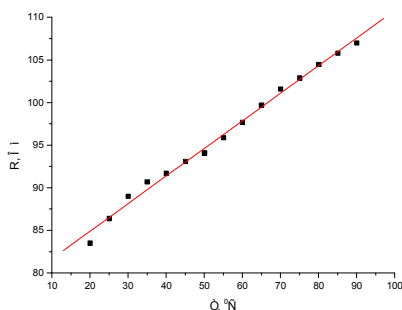
Поволжский государственный технологический университет

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Аннотация. Экспериментально исследована зависимость сопротивления медного проводника от температуры.

Ключевые слова: сверхпроводимость, металлы и сплавы, куперовские пары.

Электрическое сопротивление металлов зависит от температуры [1]. Экспериментально получено, что для металлов зависимость $R(t)$ в области комнатных температур близка к линейной (рисунок). Термодинамический метод дает зависимость $R \sim \sqrt{T}$, в то время как эксперимент показывает, что $R \sim T$. Следовательно, термодинамический подход нельзя использовать



Зависимость электрического сопротивления металлов от температуры

при объяснении явления проводимости и сверхпроводимости.

У большинства металлов и сплавов при температуре порядка нескольких градусов по Кельвину сопротивление скачком обращается в нуль. Данное явление получило название сверхпроводимости. В настоящее время сверхпроводимость – это одна из наиболее изучаемых областей физики, явление, открывающее перед инженерной практикой серьёзные перспективы. При этом большое распространение получили приборы, которые основаны на явлении сверхпроводимости, и без них уже не может обойтись ни современная электроника, ни медицина, ни космонавтика.

Сверхпроводимость – вещь довольно странная и, в некоторой мере, даже противоречащая здравому смыслу, поскольку при прохождении тока по обычному проводу, при наличии у провода электрического сопротивления, ток совершает определенную работу, направленную на преодоление данного сопротивления со стороны атомов, в результате чего выделяется тепло, при этом каждое соударение электронов – носителей тока – с атомами тормозит движение электронов, а сами атомы при этом разогреваются.

Сверхпроводимость, как явление, возникает в результате образования куперовских пар электронов, ведущих себя подобно единой частице [2].

При сверхнизких температурах электрическое сопротивление падает практически до нуля, и электроны практически не испытывают сопротивления со стороны атомов кристаллической решетки металла, при этом атомы металлов практически не колеблются в силу их низкого теплового движения. Поскольку любой металл обладает только присущими ему электропроводящими свойствами и отпускает электроны внешнего слоя в «свободное путешествие», то мы имеем ионизированные, положительно заряженные ядра кристаллической решетки и отрицательно заряженные электроны, свободно «путешествующие» между ними. При попадании проводника под действие разности электрических потенциалов электроны – волей или неволей – будут двигаться, будучи свободными, между положительно заряженными ядрами, и всякий раз они вяло взаимодействуют с ядрами (и между собой), но тут же «убегают». Однако при «проскакивании» электронов между двумя положительно заряженными ядрами, они как бы «отвлекают» их на себя, и в результате, после того как между двумя ядрами «проскочил» электрон, создаются благоприятные энергетические условия для перемещения еще одного электрона, в результате чего электроны перемещаются внутри атомно-кристаллической структуры парами, образуя куперовские электронные пары. Двигающиеся в металле электроны окружены «облаком» положительного заряда, возникающего

из-за притяжения к ним положительных ионов кристаллической решетки, и к такой системе (электрон – «облако» положительного заряда) может быть притянут любой другой электрон, который также окружен «облаком» положительного заряда.

Таким образом, электроны в сверхпроводящем металле попарно взаимодействуют между собой, и на это уходит почти вся их энергия. У электронов просто не остается энергии на взаимодействие с ядрами атомов кристаллической решетки, и они замедляются настолько, что им больше нечего терять (энергетически), а окружающие их ядра «остывают» настолько, что они более не способны «тормозить» свободные электроны. В результате чего электроны начинают перемещаться между атомами металла, практически не теряя энергии в результате соударения с атомами, и электрическое сопротивление сверхпроводника устремляется к нулю.

Так как ток переносится куперовскими парами, движущимися с одинаковой скоростью, то он в сверхпроводнике течёт, не испытывая сопротивления.

Электрическое сопротивление возникает в результате рассеяния друг на друге независимо движущихся электронов. Если электрический ток достаточно большой, то необходимую энергию можно получить за счёт кинетической энергии движения пар. В этом случае энергия будет затрачена на разрушение пар, после чего восстановится нормальное сопротивление.

Становится понятным, почему ток в сверхпроводнике не может превышать некоторого максимального значения, называемого критическим током, по достижении которого сверхпроводимость разрушается, и металл становится нормальным.

Возможности применения сверхпроводимости в настоящее время распространяются на многие сферы жизни, и в недалеком будущем сверхпроводимость благодаря развитию нанотехнологий станет одной из базовых составляющих технического прогресса во многих секторах науки и техники.

Литература

1. Электричество: лабораторный практикум / Л. А. Григорьев, М. Е. Гордеев, А. С. Масленников [и др.]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. – С. 69-76.
2. Шмидт, В. В. Введение в теорию сверхпроводников / В. В. Шмидт. – М.: Наука, 1982. – 238 с.

УДК 539.3

Баталова Н. А., Лоскутов Ю. В., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS 17.0

***Аннотация.** На основе метода конечных элементов рассмотрено поведение свободно опертой балки из железобетона под действием сосредоточенных сил. Для моделирования связующего использованы объемные конечные элементы, для моделирования арматуры – линейные КЭ. Получены данные о напряженно-деформированном состоянии и картина распределения трещин от действующей нагрузки по телу балки.*

***Ключевые слова:** метод конечных элементов, деформации, напряжения, ANSYS.*

Железобетон – физически нелинейный анизотропный материал, в котором бетон в большей степени воспринимает сжимающие усилия, а арматура – растягивающие. В расчете железобетонных конструкций необходимо учитывать величину обжатия бетона арматурой. Применение конечных элементов, не учитывающих анизотропию физико-механических свойств материала, приводит к некорректному решению. Поэтому тема работы представляется достаточно актуальной для практики инженерных расчетов.

Целью работы является оценка точности конечно-элементной модели железобетонной балки, описывающей материал объемными и линейными конечными элементами. Поставлены *следующие задачи*: построение КЭ модели свободно опертой железобетонной балки в программном комплексе ANSYS; получение на основе разработанной модели картины распределения полей напряжений и деформаций в балке под действием сосредоточенных сил; оценка точности модели на основе сравнения с данными, полученными аналитическими расчетами и экспериментами; получение схемы трещинообразования в балке под нагрузкой.

Рассмотрим железобетонную балку, действующие нагрузки, схема закрепления и геометрические характеристики которой представлены на рис. 1. В предложенной КЭ модели бетон балки представлен объемными

конечными элементами типа SOLID65. КЭ SOLID65 предназначен для моделирования элементов, допускающих трещинообразование при растяжении. Данный элемент также допускает возможность разрушения материала при сжатии (дробление материала в сжатой зоне). Для армирующих элементов использованы линейные конечные элементы типа LINK181. Взаимная работа бетона и арматуры обеспечивается при помощи APDL-скрипта. Для оценки результатов железобетонная балка рассчитана в соответствии с методикой СП 63.13330.2012 [1]. После вычислений в комплексе ANSYS получены следующие численные данные и схемы распределения полей напряжений и деформаций: на рис. 2 представлены вертикальные деформации, на рис. 3 – напряжения, на рис. 4 – картина трещинообразования.

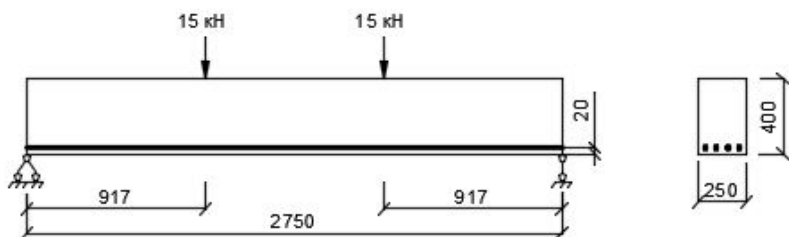


Рис. 1. Расчетная схема балки

В результате установлено:

1. при задании диаграмм деформирования составных элементов композиции (арматурной стали и бетона), в соответствии с действующими нормами проектирования железобетонных конструкций [1-2], предельная нагрузка на балку по результатам моделирования в программном комплексе ANSYS вполне соответствует теоретической величине. Отклонение не превышает: 7,1% при оценке предельной нагрузки по жесткости наиболее нагруженного сечения; 0,5% – при оценке по предельному состоянию с образованием пластического шарнира.

2. схема расположения трещин, полученная по результатам моделирования в программном комплексе ANSYS, вполне согласуется с теоретической схемой расположения трещин (в соответствии с траекториями главных напряжений в бетоне) и экспериментом [2].

Таким образом, программный комплекс ANSYS позволяет производить корректное объемное моделирование изгибаемых железобетонных элементов с нелинейным деформированием бетона и арматуры. Программный комплекс ANSYS может быть использован для объемного

моделирования железобетонных изгибаемых элементов при их проектировании и исследовании (в том числе до стадии «разрушения»).

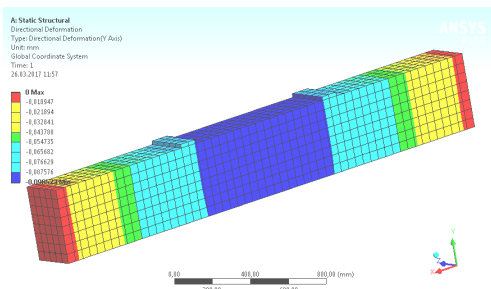


Рис. 2. Вертикальные деформации балки

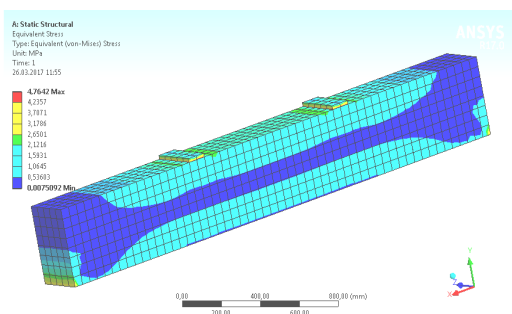


Рис. 3. Эквивалентные напряжения балки

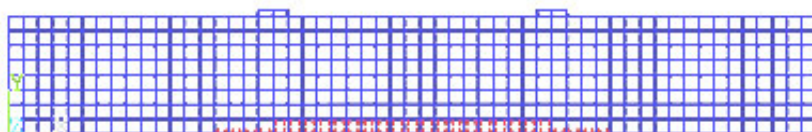


Рис. 4. Распределение трещин в балке

Литература

1. СП 63.13330.2012. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: Минрегион России. 2012. – 161 с.
2. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции. Общий курс: учебник для вузов / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – 6 изд., – репринтное. – М.: ООО «Бастет», 2009. – 768 с.

Булдакова Ю. М., Комлева М. А., Кудрявцев С. Г.
Поволжский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОСЕЙ АНИЗОТРОПИИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ПОЛОСЕ, СКРЕПЛЕННОЙ С ЖЕСТКИМ ОСНОВАНИЕМ

Аннотация. Представлены результаты исследования о влиянии направления осей анизотропии на напряженное состояние в анизотропной полосе.

Ключевые слова: полоса, анизотропия, упругость, напряжения.

Рассмотрим полосу бесконечной длины и постоянной высоты h , скрепленную с жестким основанием (рис. 1). Материал полосы анизотропный и следует закону Гука. Ось x направим вдоль нижней плоскости полосы, y – перпендикулярно границе.

В работе [1] получены уравнения для определения напряжений в произвольной точке анизотропной полосы, когда на верхней плоскости в сечении $x=0$ действует сосредоточенная сила F перпендикулярно границе. Уравнения приведены для варианта, когда направления осей анизотропии совпадают с осями координат. Выявим влияние направления осей анизотропии на характер напряженного состояния полосы. С этой целью, используя формулы преобразования упругих постоянных при повороте осей анизотропии на некоторый угол φ [2], выразим коэффициенты деформации через технические постоянные и полученные значения подставим в соответствующие уравнения [1].

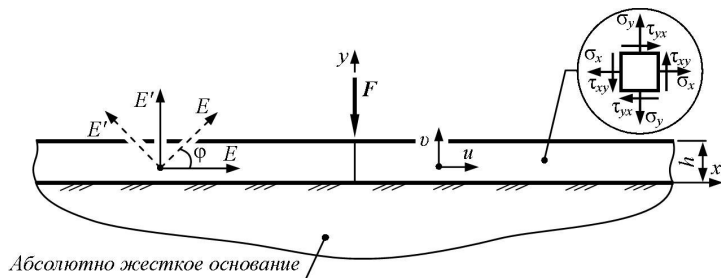


Рис. 1. Схема взаимодействия полосы и жесткого основания

Влияние направления осей анизотропии на характер напряженного состояния в полосе показано для плоского напряженного состояния на рис. 2-5. Графики построены в безразмерных параметрах

$$\tilde{\sigma}_x = \frac{\sigma_x \pi h}{F}, \quad \tilde{\sigma}_y = \frac{\sigma_y \pi h}{F}, \quad \tilde{\tau}_{xy} = \frac{\tau_{xy} \pi h}{F}, \quad \tilde{x} = \frac{x}{h}, \quad \tilde{y} = \frac{y}{h}$$

при значениях $E=35,9 \text{ ГПа}$, $E'=29,3 \text{ ГПа}$, $G=7,6 \text{ ГПа}$, $\nu=0,177$ (тканевый стеклопластик горячего прессования СТЭТ) [2]. Максимальные значения соответствующих параметров напряжений приведены в таблице под графиками при двух значениях: $\tilde{y} = 0$ и $\tilde{y} = 0,5$.

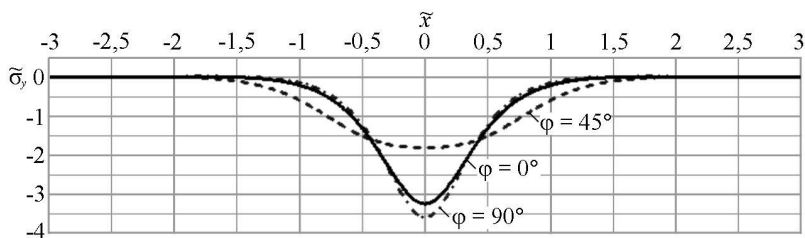


Рис. 2. Изменение параметра напряжения $\tilde{\sigma}_y$ при $\tilde{y} = 0$

Таблица 1. Наибольшие значения параметра $\tilde{\sigma}_y^{\max}$ в зависимости от угла ϕ

ϕ	0°	30°	45°	60°	90°
$\tilde{y} = 0,5$	-4,96	-3,75	-3,44	-3,89	-5,49
$\tilde{y} = 0,0$	-3,25	-2,13	-1,82	-2,21	-3,59

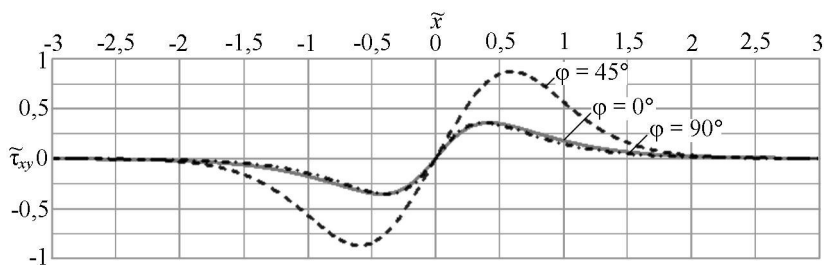


Рис. 3. Изменение параметра напряжения $\tilde{\tau}_{xy}$ при $\tilde{y} = 0$

Таблица 2. Наибольшие значения параметра $|\tilde{\tau}_{xy}^{\max}|$ в зависимости от угла ϕ

ϕ	0°	30°	45°	60°	90°
$\tilde{y} = 0,5$	0,975	1,20	1,32	1,20	0,975
$\tilde{y} = 0,0$	0,357	0,741	0,874	0,741	0,357

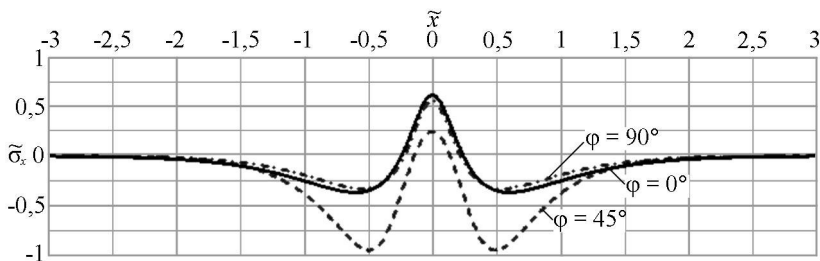


Рис. 4. Изменение параметра напряжения $\tilde{\sigma}_x$ при $\tilde{y} = 0,5$

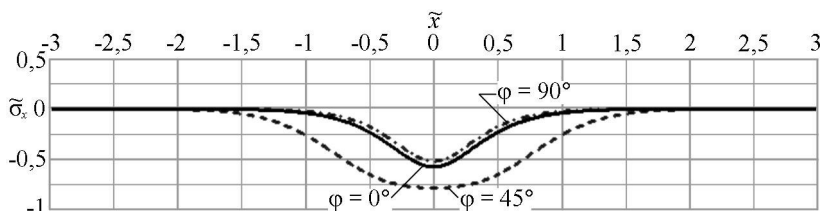


Рис. 5. Изменение параметра напряжения $\tilde{\sigma}_x$ при $\tilde{y} = 0$

Таблица 3. Значение параметра $\tilde{\sigma}_x^{\max}$ в зависимости от угла φ

φ	0°	30°	45°	60°	90°
$\tilde{y} = 0,5$	$\frac{0,607}{-0,369}$	$\frac{0,340}{-0,799}$	$\frac{0,240}{-0,948}$	$\frac{0,328}{-0,770}$	$\frac{0,548}{-0,333}$
$\tilde{y} = 0,0$	-0,575	-0,846	-0,785	-0,815	-0,519

Во второй строке таблицы 3 в числителе указаны максимальные положительные значения параметра $\tilde{\sigma}_x$, в знаменателе – максимальные отрицательные.

Из сравнения графиков изменения параметров напряжений и данных таблиц видно, что при заданном варианте нагружения полосы ориентации осей анизотропии оказывает влияние на характер напряженно-деформированного состояния.

Литература

1. Кудрявцев, С. Г. Взаимодействие анизотропной полосы и жесткого основания / С.Г. Кудрявцев, Ю. М. Булдакова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2012. – № 4. – С. 29-35.
2. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела / С. Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 416 с.

Булдакова Ю. М., Кудрявцев С. Г., Рассанова А. В.
 Поволжский государственный технологический университет

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ДВУХСЛОЙНОМ ОСНОВАНИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НОРМАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ НАГРУЗКИ

Аннотация. Приведены графики напряжений в двухслойном основании в зависимости от характера распределения поверхностной нагрузки.

Ключевые слова: полоса, полуплоскость, упругость, напряжения.

Рассмотрим в условиях плоского деформированного состояния упругую среду, состоящую из полосы высотой h с плоскопараллельными границами бесконечной длины и полуплоскости (рис. 1). Полагаем, что на границе контакта слоев выполняются условия полного сцепления. Материал слоев изотропный, но с разными упругими характеристиками. Каждый слой отнесем к местной декартовой системе координат. Оси абсцисс сонаправлены, оси ординат направлены вглубь слоев перпендикулярно границе раздела. Перемещения, напряжения, упругие характеристики материала полуплоскости обозначим чертой сверху. Статическая нормальная поверхностная нагрузка прикладывается к верхней плоскости основания. Исследуем, как влияет характер распределения нагрузки на напряженное состояние в двухслойном основании.

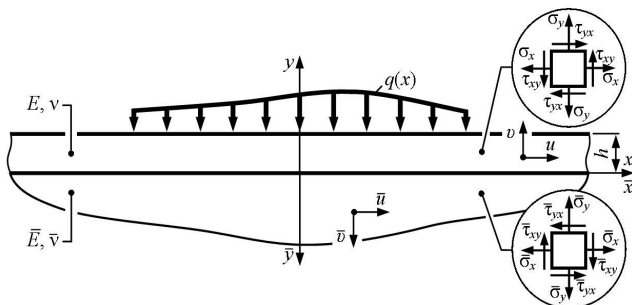


Рис. 1. Схема взаимодействия полосы и основания

В работе [1] получены формулы для напряжений и перемещений в двухслойном анизотропном основании (в частном случае двухслойном

изотропном основании), когда в сечении $x=0$ приложена перпендикулярно верхней плоскости сила интенсивностью F . Используя приведенные результаты, несложно записать функции напряжений, перемещений в полосе и полуплоскости для других вариантов нагружения двухслойного изотропного основания, например, показанных на рис. 2.

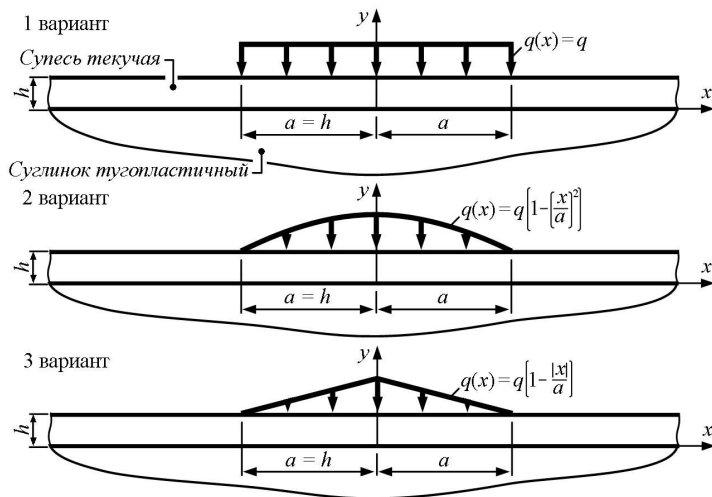


Рис. 2. Расчетные схемы нагружения двухслойного основания

На рис. 3-5 в безразмерных параметрах

$$\tilde{\sigma}_y = \frac{\sigma_y \pi}{q}, \quad \tilde{\sigma}_x = \tilde{\bar{\sigma}}_x = \frac{\sigma_x \pi}{q}, \quad \tilde{\tau}_{xy} = \frac{\tau_{xy} \pi}{q}, \quad \tilde{x} = \frac{x}{h}, \quad \tilde{y} = \tilde{\bar{y}} = \frac{y}{h}$$

построены графики изменения параметров напряжений $\tilde{\sigma}_x$, $\tilde{\sigma}_y$, $\tilde{\tau}_{xy}$ вдоль прямой параллельной оси x на границе контакта полосы и полуплоскости. Упругие характеристики материала слоев основания, согласно [2], имеют значения: супесь текучая – $E = 29,8 \text{ МПа}$, $\nu = 0,28$; суглинок тугопластичный – $\bar{E} = 36,4 \text{ МПа}$, $\bar{\nu} = 0,33$.

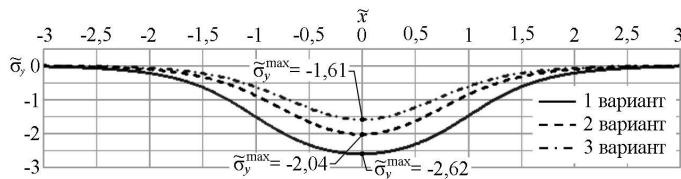


Рис. 3. Изменение параметра напряжения $\tilde{\sigma}_y$ при $\tilde{y} = 0$

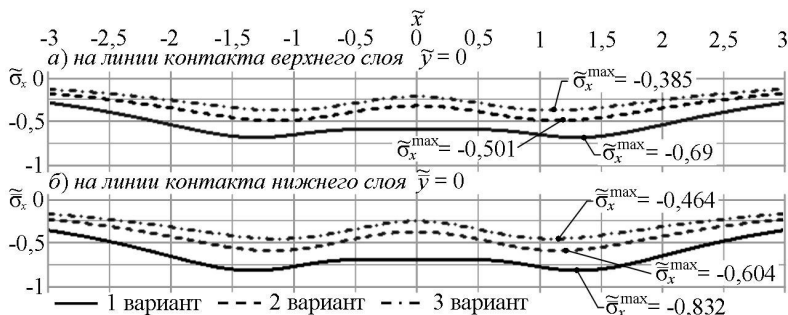


Рис. 4. Изменение параметра напряжения $\tilde{\sigma}_x$ ($\tilde{\sigma}_x$)

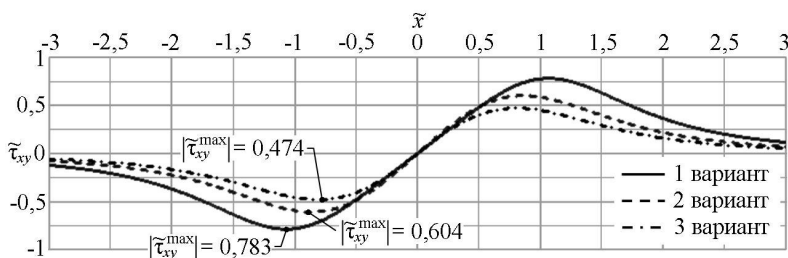


Рис. 5. Изменение параметра напряжения $\tilde{\tau}_{xy}$ в полосе при $\tilde{y} = 0$

Результаты представленных исследований дают оценку влияния характера прикладываемой нагрузки на качественную и количественную картину изменения компонентов напряжений σ_x , σ_y , τ_{xy} в двухслойном основании. Варьируя значениями упругих характеристик материалов полосы и полуплоскости, несложно проанализировать их влияние на напряженное и деформированное состояние основания при заданных или других вариантах нагружения.

Литература

1. Кудрявцев, С. Г. Напряженное и деформированное состояние двухслойного анизотропного основания / С. Г. Кудрявцев, Ю. М. Булдакова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. – № 5. – С. 9-20.
2. Бугров, А. К. Анизотропные грунты и основания сооружений / А. К. Бугров, А. И. Голубев. – СПб: Недра, 1993. – 245 с.

Журавлев Е. А., Исмоилов М. Ф.

Научный руководитель: Журавлев Е. А., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ГРУЗА, ЗАКРЕПЛЕННОГО НА ГИБКОМ ПОДВЕСЕ

Численное исследование точности программного управления
гидроприводом многосвязного механизма

Аннотация. Представлена математическая модель электромеханической системы, состоящей из твердого тела, подвешенного на гибкой нити, и транспортного устройства с электроприводом, обеспечивающим прямолинейное движение точки подвеса. Производится поиск квазиоптимальных режимов управления электроприводом, при которых амплитуда остаточных свободных колебаний груза минимальна.

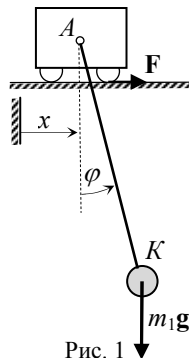
Ключевые слова: электромеханическая система, твердое тело на гибком подвесе, квазиоптимальное управление, свободные колебания, минимальная амплитуда.

При транспортировке тяжелых грузов часто используется гибкий подвес. Схема транспортировки показана на рис. 1: груз закреплен на конце гибкой нити AK , второй конец которой связан с транспортным устройством – тележкой, приводимой в движение электродвигателем. При больших ускорениях точки подвеса A возникают колебания груза такой большой амплитуды, которая препятствует его точному и безопасному перемещению [1]. Поэтому актуальной является задача выбора такого режима управления электроприводом, при котором остаточные амплитуды колебаний груза будут минимальными.

Математическая модель динамики механических компонентов системы построена на основе принципа Даламбера. Используемые уравнения кинестатики для груза и для тележки вместе с грузом имеют вид

$$m_A(m_1g) + m_A(\Phi_1) = 0, \quad F_x + \Phi_{1x} + \Phi_{2x} = 0, \quad (1)$$

где Φ_1, Φ_2 – Даламберовы силы груза и тележки, F – сила тяги (сила трения ведущего колеса).



Представляя в (1) Даламберовы силы через производные $\ddot{x}, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$, получим систему дифференциальных уравнений:

$$\cos \varphi \ddot{x} + l \ddot{\varphi} = -g \sin \varphi, \quad (m_1 + m_2) \ddot{x} + m_2 l \cos \varphi \ddot{\varphi} = m_2 l \sin \varphi \dot{\varphi}^2 + F. \quad (2)$$

Для описания работы электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением используются [2] зависимости электромагнитного момента M двигателя от силы тока j в цепи якоря

$$M = k j, \quad (3)$$

и уравнение баланса напряжений в этой цепи

$$L \frac{dj}{dt} + Rj + k \dot{\alpha} = u(t), \quad (4)$$

где u – управляющее напряжение, k – электромагнитный коэффициент двигателя, R и L – активное сопротивление и индуктивность цепи якоря, $\dot{\alpha}$ – угол поворота якоря электродвигателя.

Зависимости между тяговой силой F и моментом M , а также между перемещением тележки и углом поворота якоря устанавливаются равенствами

$$F = \frac{M}{r} n, \quad x = \frac{\alpha}{n} r, \quad (5)$$

где r – радиус ведущего колеса тележки, n – передаточное отношение редуктора.

После несложных преобразований из (2)–(5) получена система 3-х дифференциальных уравнений 5-го порядка разрешенных относительно старших производных:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{m_2 g \sin \varphi \cos \varphi + m_2 \dot{\varphi}^2 L \sin \varphi + F}{m_1 + m_2 \sin^2 \varphi}, \\ \ddot{\varphi} &= \frac{m_2 \dot{\varphi}^2 \cos \varphi \sin \varphi + F \cos \varphi + g(m_1 + m_2) \sin \varphi}{-L(m_1 + m_2 \sin^2 \varphi)}, \\ L \frac{dj}{dt} &= u(t) - Rj - kn \frac{\dot{x}}{r}, \end{aligned} \quad (6)$$

которая вместе с начальными условиями

$$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_0, \quad \varphi(0) = \varphi_0, \quad \dot{\varphi}(0) = \dot{\varphi}_0, \quad j(0) = j_0 \quad (7)$$

описывает динамику управляемой электромеханической системы, включающей груз, тележку и электропривод постоянного тока.

Для электропривода используется релейный закон управления напряжением, состоящий в чередовании 3-х значений напряжения:

U , $0 - U$, подаваемого на обмотку якоря электродвигателя. Моменты переключения $t_1, t_2, \dots$, а также порядок чередования значений напряжения устанавливались в ходе численных исследований.

Система дифференциальных уравнений (6) решалась на ЭВМ численным методом Рунге-Кутты. Для расчетов и графического представления результатов использовалась программа Mathcad.

На рис. 2-4 представлены результаты решения для нулевых начальных условий и управляющего напряжения:

$$u(t) = \begin{cases} U, & \text{если } 0 \leq t \leq t_1, \\ 0, & \text{если } t_1 < t < t_2, \\ -U, & \text{если } t_2 \leq t \leq t_3, \\ 0, & \text{если } t < t_3, \end{cases} \quad (8)$$

где $t_1 = 3\text{с}$, $t_2 = 3\text{с}$, $t_3 = 5\text{с}$, $U = 200\text{ В}$.

На рис. 2 показан график движения тележки, а на рис. 3 – график колебаний груза. На рис. 4 представлен график остаточных колебаний груза после остановки тележки.

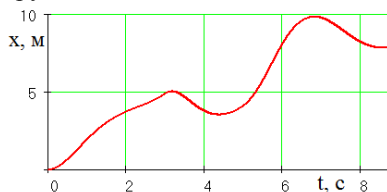


Рис. 2

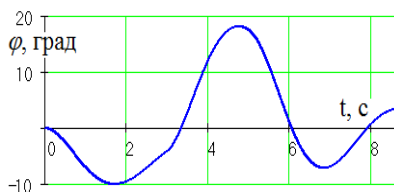


Рис. 3

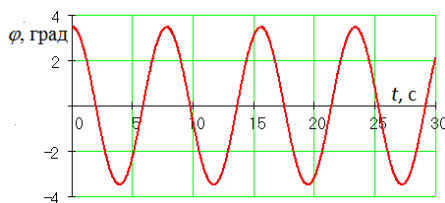


Рис. 4

Как видно из графиков, при выбранном способе управления (8) амплитуда остаточных колебаний в 5 раз меньше, чем максимальное отклонение груза от вертикали в процессе перемещения.

Литература

1. Черноусько, Ф. Л. Управление колебаниями / Ф. Л. Черноусько, Л. Д. Акуленко, Б. Н. Соколов. – М.: Наука, 1980. – 347 с.
2. Копылов, И. П. Электрические машины / И. П. Копылов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 325-332.

УДК 531

Журавлев Е. А., Кахраманов М. Ф.

Научный руководитель: Журавлев Е. А., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ МНОГОЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

Аннотация. Представлена математическая модель двухзвенного манипулятора, приводимого в движение гидродвигателями поступательного движения с дроссельной системой управления. На основании решения обратной задачи динамики формируется программа управления проходными сечениями окон дросселей. Производится численная проверка результата действия сформированной программы управления.

Ключевые слова: двухзвенный манипулятор, гидродвигатели поступательного движения, дроссельное управление, численное исследование.

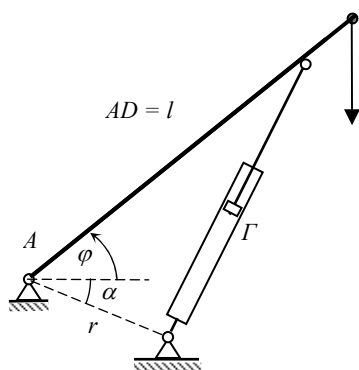


Рис. 1. Схема механизма

Для управления гидравлическими двигателями используют дроссельное или объемное регулирование. В данной работе представлен способ построения такой программы управления дроссельным регулятором двигателя, которая обеспечивает выполнение заданного закона движения звена механизма.

Рассмотрим простейший исполнительный механизм, состоящий из одного вращательного звена OB , с весовой нагрузкой P (рис. 1). Звено приводится

в движение гидравлическим двигателем поступательного действия Γ .

Пусть задан закон движения звена OA в виде t). Используя дифференциальное уравнение движения звена [1], получаем зависимость приводной силы N от времени:

$$N(t) = [I\ddot{\phi} - m_O(\mathbf{P})] \frac{\sin \varphi}{r\sqrt{l^2 + r^2 - 2lr \cos(\varphi + \alpha)}}. \quad (1)$$

Приводная сила обусловлена разностью давлений в полостях двигателя, поэтому

$$N = p_1 F_1 - p_2 F_2, \quad (2)$$

где p_1, p_2 – давления рабочей жидкости в полостях, F_1, F_2 – рабочие площади поршня.

Зная угловую скорость звена $\omega = \dot{\phi}(t)$, нетрудно найти скорость движения поршня двигателя

$$v(t) = \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\sqrt{l^2 + r^2 - 2lr \cos(\varphi + \alpha)}} \dot{\phi}. \quad (3)$$

и расходы рабочей жидкости для каждой из полостей

$$Q_1 = vF_1, \quad Q_2 = vF_2. \quad (4)$$

С другой стороны, как известно из гидравлики, расходы жидкости, поступающей в полость 1 и вытекающей из полости 2, выражаются через давления в полостях зависимостями:

$$Q_1 = u\mu \sqrt{\frac{2(p_H - p_1)}{\rho}}, \quad Q_2 = u\mu \sqrt{\frac{2(p_2 - p_A)}{\rho}}, \quad (5)$$

где $u = u(t)$ – площадь проходных сечений окон дросселя; p_H, p_A – постоянные давления в напорной и сливной магистралях двигателя; – плотность рабочей жидкости.

Из равенств (4), (5), (2) нетрудно получить выражение для управляющего параметра u :

$$u = \frac{v(t)}{\mu} \sqrt{\frac{\rho(F_1^3 + F_2^3)}{(p_H F_1 - p_A F_2) - N(t)}}. \quad (6)$$

Полученное выражение (6) и определяет программу управления дроссельным распределителем двигателя, которая должна обеспечить заданный закон движения звена.

Для проверки работоспособности предложенной методики были выполнены расчеты на ЭВМ. Закон движения звена задавался в виде:

$$\varphi(t) = \begin{cases} \varphi_0 + \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{2} \left(1 + \cos \frac{t}{T} \right) & \text{при } 0 \leq t \leq T, \\ 0 & \text{при } t > T. \end{cases} \quad (7)$$

где $T = 5$ с – время поворота звена; φ_0, φ_1 – начальный и конечный углы наклона звена к горизонту.

Полученная в результате расчета по формулам (6), (3), (1) программа управления дросселем $u = u(t)$ представлена на рис. 2. Полученная программа $u = u(t)$ была использована в качестве управляющей в динамической модели гидравлического механизма [1]. Результаты расчетов по этой модели сопоставлялись с планируемым законом движения звена (7). Отклонение угла поворота звена от заданного закона (7) показано на рис. 3.

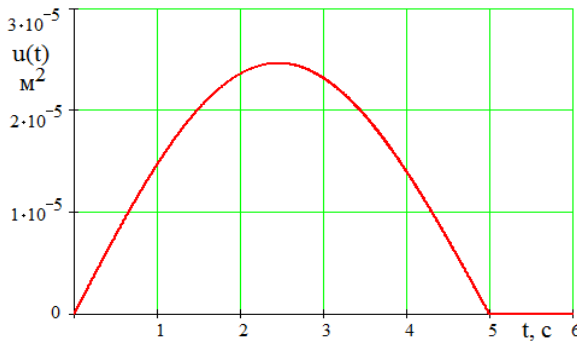


Рис. 2. Программа управления дроссельным распределителем

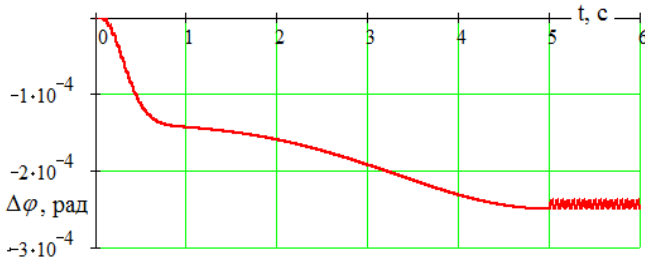


Рис. 3. Отклонения от проектируемого закона движения звена

Результат свидетельствует о пригодности предлагаемой методики построения управления.

Литература

1. Журавлев, Е. А. Механика управляемых систем / Е. А. Журавлев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 103 с.

УДК 539.3

Зыкова А. А., Куликов Ю. А., Родникова А. В.

Поволжский государственный технологический университет

КОЛЕБАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ВНУТРЕННИМ ПОТОКОМ

Рассмотрим колебания пространственного композитного трубопровода с нестационарным потоком жидкости [1]. Считаем, что упругие перемещения и деформации – величины малые и не оказывают влияния на параметры жидкости. Частотный спектр нагрузки ограничиваем областью низших собственных частот трубопровода. Параметры течения жидкости раскладываем на постоянные и переменные составляющие:

$$\left. \begin{aligned} p(s, t) &= p_m(s) + p_*(s, t) \\ V(s, t) &= V_m(s) + V_*(s, t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $p(s, t)$ и $V(s, t)$ – функции давления и скорости; s – осевая координата; t – время.

Для вывода разрешающих уравнений воспользуемся методом конечных элементов в перемещениях (МКЭ). Перемещения произвольной точки оси стержневого КЭ выражаем через обобщённые координаты:

$$\{f^{(n)}(s, t)\} = [\Phi(s)] \{q^{(n)}(t)\}. \quad (2)$$

Здесь n – порядковый номер КЭ; $[\Phi(s)]$ – матрица координатных функций. Примем

$$\{q^{(n)}(t)\} = \{q_m^{(n)}\} + \{q_*^{(n)}(t)\}, \quad (3)$$

где $\{q_m^{(n)}\}$ и $\{q_*^{(n)}(t)\}$ – постоянная и переменная составляющие обобщённых координат.

Для вывода разрешающих уравнений воспользуемся вариационным принципом Гамильтона – Остроградского:

$$\int_{t_1}^{t_2} \left[\sum_{n=1}^N \delta \left(K^{(n)} - \Pi^{(n)} \right) + \delta W^{(n)} \right] dt = 0. \quad (4)$$

Здесь δ – знак изохронной вариации; $K^{(n)}$ и $\Pi^{(n)}$ – кинетическая и потенциальная энергия; $\delta W^{(n)}$ – виртуальная работа неконсервативных внешних сил; N – число КЭ.

Движение внутреннего потока раскладываем на переносное со скоростью $\{\dot{f}^{(n)}\}$ и относительное со скоростью V_m . Тогда кинетическая энергия КЭ и невозмущенной части потока определяется выражением

$$K^{(n)} = \frac{1}{2} \{\dot{q}_*^{(n)}\}^T [M^{(n)}] \{\dot{q}_*^{(n)}\} + \frac{1}{2} \{\dot{q}_*^{(n)}\}^T [\bar{G}^{(n)}] \{\dot{q}_*^{(n)}\} + \frac{1}{2} \{\dot{q}_*^{(n)}\}^T [A^{(n)}] \{\dot{q}_*^{(n)}\}. \quad (5)$$

$$\text{При этом } [M^{(n)}] = \int_L [\Phi]^T [m] [\Phi] ds, \quad (6)$$

$$[\bar{G}^{(n)}] = 2V_m \int_L [\Phi]^T [m_{ж}] [Q] [\Phi] ds, \quad (7)$$

$$[A^{(n)}] = V_m^2 \int_L [\Phi]^T [Q] [m_{ж}] [Q] [\Phi] ds. \quad (8)$$

Здесь $[M^{(n)}]$ – матрица масс КЭ; $[\bar{G}^{(n)}]$ и $[A^{(n)}]$ – матрицы кориолисовых и центробежных сил инерции жидкости; $[m_T]$ и $[m_{ж}]$ – диагональные матрицы масс трубы и жидкости, отнесенные к единице длины; $\{\theta^{(n)}\}$ – вектор углов поворота (вращений) поперечного сечения; $[Q]$ – матрица дифференциальных операторов. Точкой обозначена производная функции по времени.

Трубопровод с протекающей под давлением жидкостью считаем как предварительно напряженную динамическую систему. Потенциальная энергия системы $\Pi^{(n)}$ складывается из упругого потенциала и потенциала системы консервативных внешних сил:

$$\Pi^{(n)} = \frac{1}{2} \{q^{(n)}\}^T [C^{(n)}] \{q^{(n)}\} - \frac{1}{2} \{q_*^{(n)}\}^T [R^{(n)}] \{q_*^{(n)}\} - \{q^{(n)}\}^T \{F_m^{(n)}\}. \quad (9)$$

$$\text{При этом } [C^{(n)}] = \int_L [\Phi]^T [H]^T [D][H][\Phi] ds, \quad (10)$$

$$[R^{(n)}] = \int_L [\Phi]^T [Q]^T [r][Q][\Phi] ds, \quad (11)$$

$$[F_m^{(n)}] = \int_L [\Phi]^T \{p_m^{(n)}\} ds. \quad (12)$$

Здесь $[C^{(n)}]$ и $[R^{(n)}]$ – матрицы жесткости и геометрической жёсткости КЭ; $[F_m^{(n)}]$ – вектор обобщённых внешних сил; $\{\varepsilon^{(n)}\}$ и $\{\sigma^{(n)}\}$ – векторы обобщенных деформаций и напряжений; $[r]$ – диагональная матрица с элементами $(p_m A_0 - N_m)$, где A_0 – площадь отверстия трубы и N_m – продольная сила, отвечающая заданной нагрузке; $[D]$ – матрица упругих постоянных пакета слоёв. Считается, что стенка трубы образована перекрёстной спиральной намоткой двух симметричных систем волокон, уложенных под углами $\pm\varphi$ к образующей.

Виртуальную работу неконсервативных внешних сил на возможных перемещениях представим как

$$\delta W^{(n)} = \delta \{q^{(n)}\}^T \left(\{S^{(n)}(t)\} + [C_*^{(n)}(t)] \{q_*^{(n)}\} + \{F_*^{(n)}(t)\} \right), \quad (13)$$

где $\{S^{(n)}(t)\}$ – вектор обобщённых диссипативных сил; $[C_*^{(n)}(t)]$ – переменная составляющая матрицы жесткости КЭ; $\{F_*^{(n)}(t)\}$ – вектор вынуждающих сил.

В результате получим систему дифференциальных уравнений вида

$$[M] \{\ddot{q}_*\} + [B + G] \{\dot{q}_*\} + [C - R - A + C_*(t)] \{q_*\} = \{F_*(t)\} \quad (14)$$

и систему линейных алгебраических уравнений вида

$$[C(p_m, V_m)] \{q_m\} = \{F_m\} + [c] \{\Delta_m\}, \quad (15)$$

где $[M]$, $[B]$, $[C]$, $[R]$ и $[A]$ – симметричные ленточные положительно определенные матрицы масс, демпфирования, жёсткости, геометрической жёсткости и центробежных сил инерции конструкции; $[G]$ – косо-симметричная матрица кориолисовых сил инерции; $[C_*(t)]$ – матрица

жёсткости с коэффициентами, зависящими от времени. При формировании матриц используется алгоритм ансамблирования МКЭ.

Разрешающая система дифференциальных уравнений (14) описывает вынужденные параметрические колебания трубопровода как предвзятительно напряжённой динамической системы с гироскопической связанностью обобщенных координат относительно невозмущенного состояния (15).

Литература

1. Куликов, Ю. А. Динамика многослойных трубопроводов из композиционных материалов / Ю. А. Куликов, А. В. Коротков. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 280 с.

УДК 539.3

Кудрявцев А. А.

Научный руководитель: Шлычков С. В., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕРЖНЕВЫХ ОБРАЗЦОВ

Аннотация. *Представлена экспериментальная методика определения упругих и диссипативных свойств на примере стержневых образцов из древесины, стекла и полистирола. Построены амплитудно-частотные характеристики, определены упругие константы. Результаты эксперимента сопоставлены с данными численных и аналитических решений. Установлено соответствие результатов.*

Ключевые слова: *модуль упругости, амплитудно-частотная характеристика, собственная частота.*

Введение. В настоящее время для идентификации физико-механических свойств древесины часто используется виброакустический метод исследования [1]. Это неразрушающий способ диагностики резонансных свойств древесины осуществляется путем определения величины низшей собственной частоты (f) колебаний образцов. Экспериментально установленную собственную частоту используют для расчета модуля упругости древесины по формуле:

$$E = \frac{A \gamma l^4 f^2}{3,1 I_z},$$

где A – площадь поперечного сечения, l – рабочая длина, γ – удельный вес, I_z – момент инерции поперечного сечения.

Данный подход был распространен на образцы, изготовленные из стекла и полистирола. Достоверность результатов подтверждена результатами аналитических решений.

Эксперимент. Для проведения экспериментальных исследований использована специальная установка [2]. Принципиальная схема прибора представлена на рис. 1.

Нижний торец образца фиксируется в станине прибора с помощью зажимного устройства 3, обеспечивающего постоянное усилие затяжки. На верхний торец образца закрепляется колпачок 2 из «мягкого» железа с внутренним диаметром, соответствующим размеру образца. На электромагнитный вибратор 4 подается гармонический сигнал заданной частоты с выхода звуковой платы ПК. Таким образом, возбуждаются установившиеся механические колебания образца, амплитуда которых фиксируется и становится точкой на амплитудно-частотной характеристике (АЧХ).

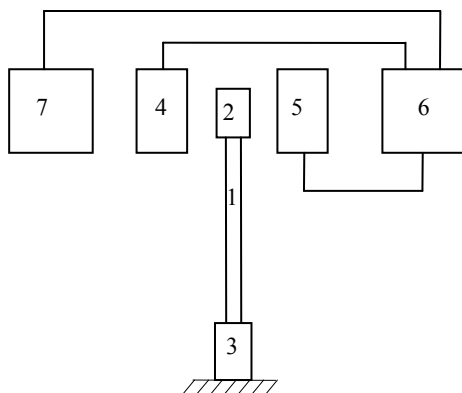


Рис. 1. Способ определения упруго-диссипативных свойств материалов

Численный эксперимент. В качестве инструмента для проведения анализа используется широко известная САПР – программный комплекс для трёхмерного моделирования SolidWork совместно с расчетным модулем Cosmos. Последний позволяет создавать дискретные мо-

дели (рис. 2), с которыми затем возможно проведение статических или динамических расчетов методом конечных элементов.

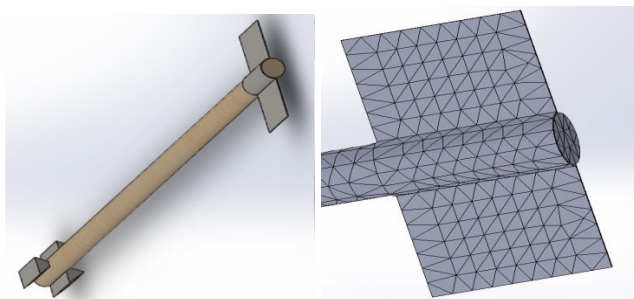


Рис. 2. Геометрическая и конечно-элементная модели образца и колпачка

В табл. 1 представлены результаты, полученные для образца из древесины сосны с колпачком, закрепленным в его верхней точке (рис. 2). В табл. 2 – для образца из древесины сосны с колпачком, закрепленным в середине его длины.

Таблица 1

Собственные частоты образца с колпачком на конце [Гц]					
Численный		Аналитический		Эксперимент	
колпачок	без колпачка	колпачок	без колпачка	колпачок	без колпачка
163,1/163,2	228	131	117	150	-
1202/1210	1424		1288	-	-

Таблица 2

Собственные частоты образца из древесины с колпачком на середине [Гц]					
Численный		Аналитический		Эксперимент	
колпачок	без колпачка	колпачок	без колпачка	колпачок	без колпачка
227,2/228,2	228	232	117	219	-
1406	1424		1288	-	-

Анализ табличных данных показывает хорошее совпадение результатов. Аналогичные исследования проведены для трубчатого образца из полистирола и образца из стекла. Показано хорошее соответствие расчетно-экспериментальных данных. Следовательно, разработанная методика может успешно использоваться при идентификации упругих свойств широкого спектра материалов.

Литература

1. Салдаева, Е. Ю. Идентификация упругих свойств древесины / Е. Ю. Салдаева, Е. М. Цветкова, С. В. Шлычков // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10, часть 12 – С. 2625-2629. – Режим доступа: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002109.
2. Шлычков, С. В. Методика оценки упруго-диссипативных характеристик материалов / С. В. Шлычков // Механика композиционных материалов и конструкций сложных и гетерогенных сред: сб. мат. Всерос. научн. конф. Москва, 15-17 декабря 2015 г. – М.: ИПРИМ РАН, 2015. – С. 311-313.
3. Баженов, В. А. Динамический модуль упругости древесины как показатель ее физико-механических свойств / В. А. Баженов // Труды института леса. – М.: изд-во АН СССР. – 1953. – Т. 2. – 451 с.

УДК 539.3

Кузнецова Е. В., Коновалова Ю. А.

Научный руководитель: Шлычков С. В., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫЕ СВОЙСТВА СТЕРЖНЕВЫХ ОБРАЗЦОВ

Аннотация. Проведено численное исследование влияния различных способов крепления стержневых образцов на их динамические свойства. С помощью метода конечных элементов создана расчетная модель образца из древесины ели. Исследована ее точность и эффективность при решении тестовых задач. Построены амплитудно-частотные характеристики с использованием модель частотно-независимого демпфирования. Сравнительный анализ показал заметное влияние глубины заземления на резонансные амплитуды.

Ключевые слова: коэффициент демпфирования, амплитудно-частотная характеристика, диссипативные свойства.

Введение. Численное исследование посвящено анализу влияния способа закрепления образцов на их диссипативные свойства. Исследования проведены на стержневых образцах, изготовленных из древесины ели. Известно, что одним из способов определения упругих и диссипативных свойств материалов является построение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) для образцов из данных материалов и их последующий анализ [1]. При этом возможна практическая реализация раз-

личных способов фиксации образца (рис. 1). Рассмотрено пять вариантов граничных условий (ГУ):

- 1 – защемление торцевой поверхности образца;
- 2 – защемление торцевой и боковой поверхности образца длиной 3 мм;
- 3 – защемление торцевой и боковой поверхности образца длиной 6 мм;
- 4 – линейное защемление боковой поверхности образца длиной 3 мм;
- 5 – линейное защемление боковой поверхности образца длиной 6 мм.

Каким образом отражается изменение граничных условий на динамические свойства образца – основная задача данного исследования.

Расчетная модель. Для численной реализации использован метод конечных элементов (МКЭ) посредством программного комплекса Ansys. Для дискретизации образца использован конечный элемент (КЭ) Solid 45. Он предназначен для трехмерного моделирования и содержит 8 узлов. Древесина ели рассчитывается на основе модели ортотропного тела [2].

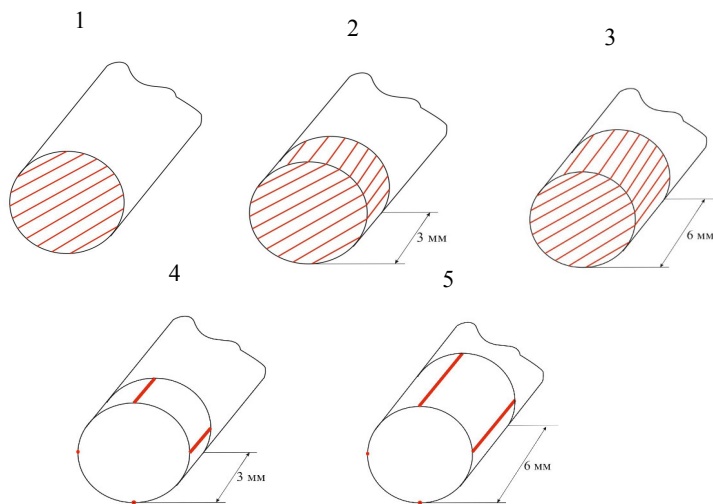


Рис. 1. Варианты фиксации образца при возбуждении изгибных колебаний

Дискретная модель образца апробирована на ряде тестовых задач статики. Определен максимальный прогиб зажатой с одной стороны балки длиной 10 см, диаметром 3 мм под действием силы величиной $F_0 = 0,01$ Н. Исследована величина прогиба в зависимости от степени

дискретизации. Установлена сходимость решения МКЭ к точному «сверху».

В качестве динамической рассмотрена задача на вынужденные колебания этой же балки (рис. 2).

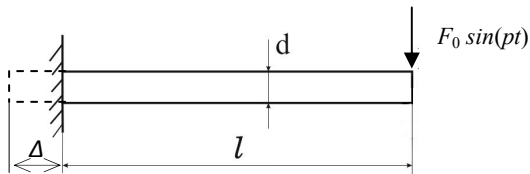


Рис. 2. Расчетная модель образца

Колебания описываются системой обыкновенных дифференциальных уравнений вида:

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} = \{F(t)\}. \quad (1)$$

Уравнения (1), записанные в главных координатах, принимают следующий вид

$$\ddot{Z}_j + 2\eta\omega_j\dot{Z}_j + \omega_j^2 Z_j = f_j(t), \quad (j = 1, 2, \dots, \kappa) \quad (2)$$

Здесь $\{f_j(t)\} = [\Phi]^T \{F(t)\}$ – обобщенная сила, соответствующая j -ой собственной форме, κ – количество определяемых собственных частот. Для учета потерь на трение в уравнение (2) вводятся дополнительные члены, пропорциональные скорости нормальных координат. Здесь

$\eta = \frac{\delta}{2\pi}$ – безразмерный частотно независимый коэффициент демпфирования; δ – логарифмический декремент колебаний.

На основании построенной КЭ модели получены АЧХ для виброперемещений точки приложения силы. На основании эксперимента принято, что величина $\eta = 0,7$. Сравнительный анализ АЧХ показал, что с увеличением длины защемления, как по линии, так и по поверхности величины резонансных амплитуд снижаются. Высота первого «пика» снизилась на 15-20 %. Вместе с тем, заметной разницы между резонансными амплитудами, полученными для образца, защемленного по линии (непосредственно в зажимное устройство [1]), и защемленного по поверхности (использование тонкой жесткой оболочки между зажимным устройством и образцом [3]) не выявлено. В этой связи ее использование считаем неактуальным.

Литература

1. Шлычков, С. В. Методика оценки упруго-диссипативных характеристик материалов / С. В. Шлычков // Механика композиционных материалов и конструкций сложных и гетерогенных сред: сб. мат. Всерос. научн. конф. Москва, 15-17 декабря 2015 г. – М.: ИПРИМ РАН, 2015. – С. 311-313.
2. Ашкенази, Е. К. Анизотропия конструкционных материалов / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
3. Салдаева, Е. Ю. Идентификация упругих свойств древесины / Е. Ю. Салдаева, Е. М. Цветкова, С. В. Шлычков // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10, часть 12 – С. 2625-2629. – Режим доступа: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002109.

УДК 539.3

Митрофанов В. Е.

Научный руководитель: Шлычков С. В., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АКУСТИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

***Аннотация.** В работе рассматриваются тонкостенные конструкции из древесины. С целью анализа динамических свойств акустических панелей разработана расчетная модель на базе метода конечных элементов. Исследуется режим свободных колебаний панелей с различными граничными условиями. Для расчета низших собственных частот и форм колебаний применяется метод итераций в подпространстве собственных векторов. Для описания упругих свойств конструкционного материала используется модель ортотропного тела. Сравнительный анализ полученных результатов позволяет выбрать наиболее акустически эффективную конструкцию.*

***Ключевые слова:** акустическая панель, спектр колебаний, граничная частота, конечный элемент.*

Введение. Акустические панели используются в отделке помещений в связи с необходимостью корректировки тембра издаваемых в помещениях звуков. Под действием звуковых волн, падающих на панель, последняя в определенном частотном диапазоне начинает вибрировать, при этом максимальная интенсивность этих колебаний будет наблю-

даться при совпадении собственных частот панели и частоты звуковой волны. Вблизи панели при этом образуется звуковое поле, в котором происходит перераспределение энергии от одной полуволны колеблющейся конструкции к другой и обратно. В результате энергия звуковых волн не излучается в окружающее пространство, а остается «связанной» с панелью в виде кинетической энергии присоединенной массы некоторого объема воздушной среды, прилегающей к конструкции. Частота, при которой происходит совпадение длины «следа» падающей на панель звуковой волны с длиной изгибной волны, называется граничной.

Величина этой частоты определяется формулой [1]: $f_{cp} = 0,55 \left(\frac{C_g^2}{h C_d} \right)$.

Здесь C_g – скорость звука в воздухе, C_d – скорость звука в древесине панели, h – толщина панели. На этой частоте происходит волновое совпадение, при котором интенсивность изгибных колебаний резко увеличивается. Известно, что скорость звука в древесине определяется фор-

мулой [2]: $C_d = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$.

Здесь E – модуль упругости, ρ – плотность древесины. Установлено, что для эффективной корректировки акустических свойств помещения в низкочастотном диапазоне необходимо создание такой конструкции, которая имела бы максимально большое количество собственных частот (плотный спектр), лежащих в акустически важном диапазоне

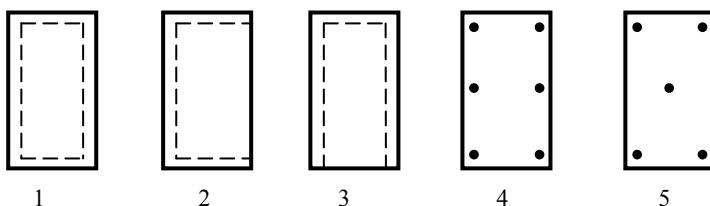
$\frac{f_{cp}}{2} \leq f \leq f_{cp}$ [1]. Это позволит наиболее эффективно поглощать энергию звуковых колебаний в области средних частот.

Расчетная модель. Расчетная модель панели строится с помощью программного комплекса ANSYS. Для дискретизации пластины используются четырехузловые оболочечные КЭ Shell 63 с 6 степенями свободы в узле. Рассмотрены задачи статики и динамики тонкостенных конструкций. Установлена сходимости решения МКЭ к точному. Результаты расчетов МКЭ сопоставлены с аналитическим решением задачи о статическом прогибе изотропной пластины под действием распределенной нагрузки [3]. Получено хорошее соответствие. Задача динамики описы-

вается системой обыкновенных дифференциальных уравнений $[M]\{\ddot{q}\} + [K]\{q\} = 0$. Здесь $[M]$, $[K]$ – матрицы масс и жесткости конструкции; $\{q\}$,

$\{q\}$ – векторы обобщенных ускорений и перемещений соответственно. Для расчета двадцати низших собственных частот и форм колебаний используется метод итераций в подпространстве собственных векторов.

Численное исследование. В работе исследуется прямоугольная тонкостенная панель, изготовленная из древесины березы. Её длина 1 м, ширина 0,5 м и толщина 2 см. Она крепится к стенам помещений, корректируя звуковое поле и создавая условия для максимально качественного прослушивания музыкальных произведений. Исследуется несколько наиболее распространенных на практике способов крепления панели. Штриховой линией обозначено шарнирное опирание края пластины, точкой – точечное крепление (рисунок).



Схемы закрепления акустических панелей

В таблице по столбцам представлены спектры собственных частот, полученные для представленных на рисунке схем закрепления. Приведены частоты и соответствующие им номера форм колебаний, попавшие в акустически важный диапазон.

Собственные частоты [Гц]					
Форма колебаний	1	2	3	4	5
1	197	191	29	63	47
...	...	...	...	...	...
	Нижняя граница $\frac{f_{cp}}{2} = 529$				
6	585				
7	743	632			
...	...	...			
11	894	806	599	586	

Окончание таблицы					
...	...	...	...	...	
13	980	928	734	701	
14		987	822	761	
15		1024	896	836	
16			945	863	532
...			...	...	...
19			1035	1002	669
20				1024	675
...					...
29					964
Верхняя граница $f_{zp} = 1058$					

Установлено, что для шарнирно-опертой по контуру панели в рассмотренный диапазон попали 8 частот, а для конструкции №5 – 14. Однако номера соответствующих им форм колебаний существенно отличаются. Для шарнирно-опертой конструкции формы колебаний имеют меньшие волновые числа: длины изгибных волн, соответствующих этим формам, получаются больше. Учитывая величину граничной частоты ($f_{zp} = 1058$ Гц), максимально возможная (нормальное падении звуковой

волны) длина изгибной волны $\lambda_{изг} = C_e T = \frac{C_e}{f_{zp}} = 0,3$ м. Это величина

соответствует низшим формам колебаний, частоты которых для конструкций № 3 – 5 оказываются ниже полученного диапазона и очевидно, не реализуются. В этой связи наиболее эффективными оказываются схемы №1 и №2 на рисунке, несмотря на меньшее количество собственных частот, попавших в рассмотренный диапазон.

Литература

1. Колесников, А. Е. Шум и вибрация: учебник / А. Е. Колесников. – Л.: Судостроение, 1988. – 248 с.
2. Шлычков, С. В. Влияние поды древесины на качество акустических панелей / С. В. Шлычков // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2016. – Т.20. – №4. – С. 60-63.
3. Донелл, Л. Г. Балки, пластины и оболочки / Л. Г. Донелл. – М.: Наука, 1982. – 568 с.

Цветков В. В.

Научный руководитель: Радченко В. П., д-р физ.-мат. наук, профессор
Самарский государственный технический университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЁТОВ ПО МОДЕЛЯМ ИЗОТРОПНОЙ И АНИЗОТРОПНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ ПРИ СОВМЕСТНОМ КРУЧЕНИИ И РАСТЯЖЕНИИ

Аннотация. На основании известных экспериментальных данных исследуется вопрос анизотропии свойств ползучести толстостенных труб из сплава Д16Т ($T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$) при совместном действии растягивающей силы и крутящего момента.

Ключевые слова: краевая задача, ползучесть, толстостенная труба, растяжение с кручением.

Большинство материалов и элементов конструкций в состоянии поставки являются практически изотропными по отношению к упругопластическому деформированию. Однако в процессе ползучести материал может проявлять анизотропию свойств, поскольку деформация ползучести существенно зависит от направления, в котором образец вырезан из заготовки.

В работе [1] была предложена методика расчёта кинетики напряжённо-деформированного состояния цилиндрического образца при совместном растяжении и кручении в условиях ползучести и проведена проверка ее адекватности экспериментальным данным [2] для образцов из сплава Д16Т ($T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$). При этом согласно [2] полагалось, что материал проявляет анизотропию свойств ползучести при чистом растяжении и чистом сдвиге (кручении тонкостенных образцов), и реологическая модель имела следующий вид:

$$\dot{p}_z = cS^{m-1}\sigma; \quad \dot{\gamma}^p = 3c^*S^{m-1}\tau; \quad S_0 = \sqrt{\sigma_0^2 + 3\tau_0^2};$$

$$\sigma = \sigma_0(1 + \omega); \quad \tau = \tau_0(1 + \omega); \quad S = S_0(1 + \omega);$$

$$\dot{\omega} = \alpha_1(S_0)^{m\alpha} \sigma \dot{p}_z + \alpha_1^*(S_0)^{m\alpha} \tau \dot{\gamma}^p,$$

где p_z – осевая деформация ползучести; γ^p – деформация ползучести сдвига; m – показатель нелинейности ползучести; ω – параметр повреж-

денности; σ и σ_0 – истинное и номинальное нормальные напряжения; τ и τ_0 – истинное и номинальное касательные напряжения; S и S_0 – интенсивности истинных и номинальных напряжений; c , α_1 , m_a – параметры модели на растяжение; c^* , α_1^* , m_a^* – параметры модели на чистый сдвиг. Для модели изотропной ползучести верны соотношения: $c^* = c$, $\alpha_1^* = \alpha_1$, $m_a^* = m_a$.

Однако, несмотря на отмеченную в [2] анизотропию, в работе [3] для этого же материала приведены расчёты на кратковременную ($t \leq 8$ ч) ползучесть тонкостенных цилиндрических образцов ($R_1 = 9$ мм, $R_2 = 10$ мм) в условиях совместного растяжения и кручения, анализ которых показал, что материал в данных экспериментах является «почти изотропным».

Для более детального изучения явления анизотропии в настоящей работе проведен сравнительный анализ кривых ползучести для толсто-стенных образцов ($R_1 = 5$ мм, $R_2 = 10$ мм) при совместном растяжении и кручении по моделям изотропной и анизотропной ползучести. На рис. 1 приведены экспериментальные и расчётные зависимости осевой деформации $\varepsilon_z = \varepsilon_z(t)$, на рис. 2 – аналогичная информация для угла закручивания $\theta = \theta(t)$.

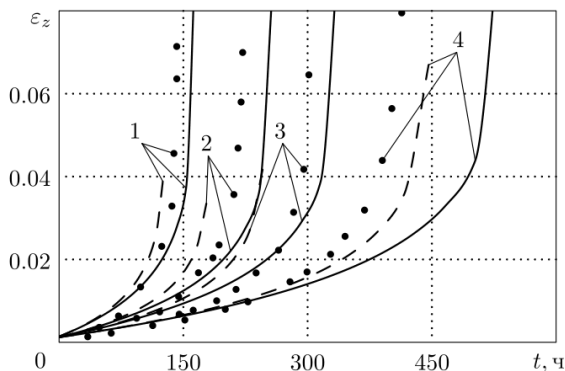


Рис. 1. Экспериментальные (точки) и расчётные (сплошные линии – для модели изотропного материала, штриховые – для модели анизотропного материала) зависимости осевой деформации ε_z для сплава Д16Т ($T = 250$ °С):
1 – $F = 18.49$ кН, $M = 47.17$ кН · мм; 2 – $F = 16.18$ кН, $M = 50.56$ кН · мм;
3 – $F = 16.18$ кН, $M = 43.34$ кН · мм; 4 – $F = 16.18$ кН, $M = 28.89$ кН · мм

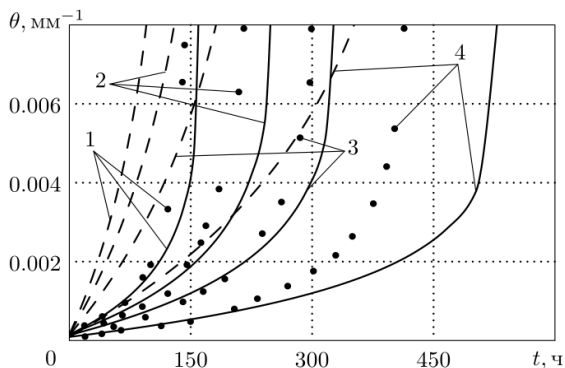


Рис. 2. Экспериментальные (точки) и расчётные (сплошные линии – для модели изотропного материала, штриховые – для модели анизотропного материала) зависимости угла закручивания θ для сплава Д16Т ($T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$): 1 – $F = 18.49\text{ кН}$, $M = 47.17\text{ кН} \cdot \text{мм}$; 2 – $F = 16.18\text{ кН}$, $M = 50.56\text{ кН} \cdot \text{мм}$; 3 – $F = 16.18\text{ кН}$, $M = 43.34\text{ кН} \cdot \text{мм}$; 4 – $F = 16.18\text{ кН}$, $M = 28.89\text{ кН} \cdot \text{мм}$

Из рис. 1 следует, что значения времени, соответствующие «пороговому» значению деформации $\varepsilon_z = 0.08$, для случаев изотропной и анизотропной ползучести, удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Однако значения времени, соответствующие величине $\theta = 0.008\text{ мм}^{-1}$ (рис. 2), полученные для модели анизотропной ползучести, существенно отличаются как от экспериментальных значений, так и от значений, полученных по модели изотропного материала. Это свидетельствует о том, что материал образцов в приведенных экспериментах следует признать изотропным.

Литература

1. Радченко, В. П. Напряжённо-деформированное состояние цилиндрического образца из сплава Д16Т в условиях осевого растяжения и кручения при ползучести / В. П. Радченко, В. В. Цветков // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки. – 2013. – №3 (32). – С. 77-86.
2. Соснин, О. В. Энергетический вариант теории ползучести / О. В. Соснин, Б. В. Горев, А. Ф. Никитенко. – Новосибирск: Институт гидродинамики СО АН СССР, 1986. – 95 с.
3. Никитенко, А. Ф. Ползучесть и длительная прочность металлических материалов / А. Ф. Никитенко. – Новосибирск: Институт гидродинамики СО РАН – НГАСУ, 1997. – 278 с.

УДК 539.376

Андреев Д. А., Иванов С. П., Иванова А. С.
Поволжский государственный технологический университет

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ БАЛОК

Аннотация: В работе рассматривается расчет балок с учетом геометрической нелинейности (при различных граничных условиях на концах).

Ключевые слова: балка, геометрическая нелинейность.

Тема расчета геометрически нелинейных балок является достаточно актуальной. При больших пролетах или при больших нагрузках в балках могут возникать перемещения, сравнимые с высотой балки. Поэтому необходимо учитывать влияние геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние балок.

При больших прогибах зависимость между деформацией ε и перемещениями можно записать так:

$$\varepsilon = u_x + \frac{1}{2} w_x^2 - z \cdot w_{xx}, \quad (1)$$

где $u_x = \frac{du}{dx}$, $w_x = \frac{dw}{dx}$, $w_{xx} = \frac{d^2w}{dx^2}$, u – продольное перемещение, w – прогиб.

Получим уравнение изгиба балки в перемещениях при учете геометрической нелинейности, используя энергетический метод.

Полная энергия Π изгиба балки состоит из работы U внутренних сил и работы A внешних сил:

$$\Pi = U + A. \quad (2)$$

$$\text{Здесь } U = \int_x \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int b \sigma \varepsilon dz dx, \quad A = \int q w dx, \quad (3)$$

где b и h – соответственно ширина и высота поперечного сечения балки.

С учетом выражения (1) получим полную энергию Π , выраженную через продольные перемещения u , прогибы w и их производные.

Определим экстремальное значение полной энергии, используя уравнения Эйлера-Лагранжа:

$$-\frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F}{\partial w_{xx}} + \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial w_x} - \frac{\partial F}{\partial w} = 0; \quad \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial u_x} - \frac{\partial F}{\partial u} = 0; \quad (4)$$

где F – подынтегральное выражение (2).

Раскрывая (4), получим систему нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} -E \cdot I \cdot w_{xxxx} + \frac{E \cdot S}{2} [3w_x^2 \cdot w_{xx} + 2(u_{xx} \cdot w_x + u_x \cdot w_{xx})] + q = 0; \\ E \cdot S(u_{xx} + w_x \cdot w_{xx}) = 0; \end{aligned} \quad (5)$$

где E – модуль упругости, $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ – момент инерции поперечного прямоугольного сечения балки, $S = b \cdot h$ – площадь поперечного сечения, q – распределенная нагрузка.

Уравнения (5) можно решить численно или используя теорию рядов.

Исследуем влияние геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние (НДС) балок с шарнирным опиранием концов (рис. 1, а) и с защемленными концами (рис. 1, б), с одинаковыми геометрическими параметрами $h/l = 1/20$.

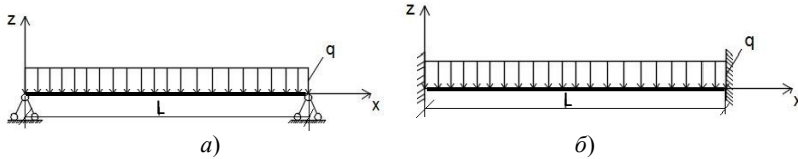


Рис. 1. Схемы балок

Запишем граничные условия для первой балки (рис. 1а):

$$x=0: w=0, u=0, w_{xx}=0; \quad x=l: w=0, u=0, w_{xx}=0. \quad (6)$$

Реализуем дифференциальные уравнения (5) в первом приближении в рядах. Принимаем следующие аппроксимирующие функции:

$$w = w_1 \sin \frac{\pi x}{l}, \quad u = u_1 \sin \frac{2\pi x}{l}. \quad (7)$$

Для второй балки (рис. 1б) граничные условия на концах имеют вид:

$$x=0: w=0, u=0, w_x=0; \quad x=l: w=0, u=0, w_x=0. \quad (8)$$

Аппроксимирующие функции будут:

$$w = w_1 \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{l} \right), \quad u = u_1 \sin \frac{2\pi x}{l}. \quad (9)$$

Подставляем (7) и (9) в (5), ортогонализируем и получаем систему нелинейных алгебраических уравнений:

для первой балки
$$-\frac{1}{2}EI \frac{\pi^4}{l^3} w_1 + \frac{3}{16}ES \frac{\pi^4}{l^3} w_1^3 + 2q \frac{l}{\pi} = 0, \quad (10)$$

для второй балки
$$-8EI \frac{\pi^4}{l^3} w_1 + 4ES \frac{\pi^4}{l^3} w_1^3 + ql = 0.$$

(11)

На рис. 2. представлены графики изменения прогиба $w^*=w_1/h$ в зависимости от действующей нагрузки $Q = \frac{q \cdot h^3}{E \cdot I}$.

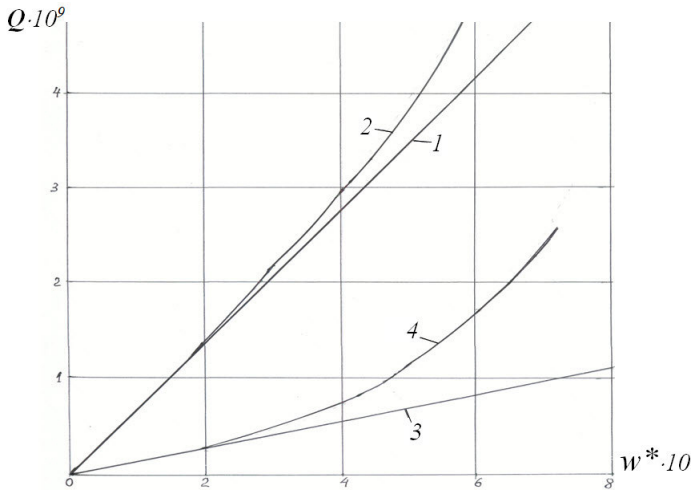


Рис. 2. Графики зависимости прогиба w^* центральной части пролета балки от нагрузки Q : 1 и 2 – соответственно по линейной и нелинейной теории для балки с защемленными концами; 3 и 4 – соответственно по линейной и нелинейной теории для балки с шарнирным опиранием концов

Из анализа графиков (рис. 2) можно сделать выводы:

1. при прогибе, примерно равном $\frac{1}{4}$ от высоты поперечного сечения балки и более, неучет нелинейной работы системы приводит к существенным погрешностям;
2. большее влияние геометрическая нелинейность оказывает на НДС балки с шарнирным опиранием концов (по сравнению с балкой с защемленными концами).

УДК 624.53

Ахметзянова Д. Р., Волкова М. Ю.

Научный руководитель: Иванов О. Г., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

***Аннотация.** Представлен график изменения изгибающего момента в статически неопределимой раме в зависимости от изменения отношения нагрузки к температуре.*

***Ключевые слова:** метод перемещения, статически неопределимая рама.*

Принципиально иной подход к расчету сооружений, когда выявление их напряженно-деформированных состояний начинается с определения перемещений от заданных воздействий и завершается построением эпюр внутренних усилий реализуется в методе перемещений.

Метод перемещений является одним из важнейших методов расчета статически неопределимых систем. Суть этого метода заключается в том, что под действием внешней нагрузки рама (балка) претерпевает различные деформации. Зная эти деформации, можно определить внутренние усилия. В качестве основных неизвестных в методе перемещений принимают независимые углы поворота жестких узлов и линейные смещения всех узлов, включая опорные.

Уравнений в системе канонических уравнений метода перемещений столько, сколько всего связей (заделок и стержней) добавлено к раме. Каждое из уравнений – это условие равновесия, означающее, что сумма реактивных усилий от углов поворота, смещений и нагрузки в любой добавленной связи равно нулю.

На основе уравнений метода перемещений проводился расчет статически неопределимой рамы (рис. 1).

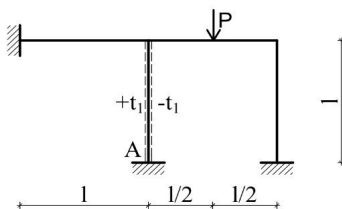


Рис. 1. Расчетная схема рамы

Для рамы канонические уравнения имеют вид:

$$\begin{cases} r_{11} \cdot Z_1 + r_{12} \cdot Z_2 + R_{1p,t} = 0 \\ r_{21} \cdot Z_1 + r_{22} \cdot Z_2 + R_{2p,t} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Используя принцип независимости действия сил, можно каждое воздействие на раму рассмотреть в отдельности:

$$\begin{cases} r_{11} \cdot Z_1 + r_{12} \cdot Z_2 + R_{1p} = 0 \\ r_{21} \cdot Z_1 + r_{22} \cdot Z_2 + R_{2p} = 0 \end{cases}, \begin{cases} r_{11} \cdot Z_1 + r_{12} \cdot Z_2 + R_{1t} = 0 \\ r_{21} \cdot Z_1 + r_{22} \cdot Z_2 + R_{2t} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Ординаты суммарной эпюры изгибающих моментов вычисляют по формуле:

$$\begin{aligned} M_p &= M_{1p} + \bar{M}_1 \cdot Z_1 + \bar{M}_2 \cdot Z_2 \\ M_t &= M_t^c + M_t^{kc} + \bar{M}_1 \cdot Z_1 + \bar{M}_2 \cdot Z_2 \end{aligned} \quad (3)$$

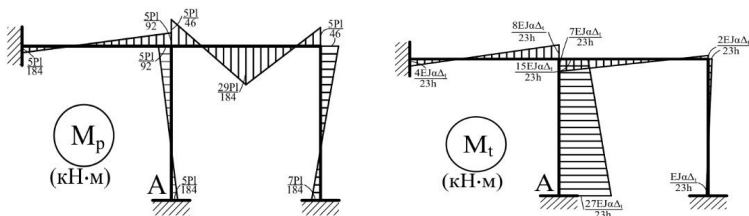


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов

Расчет проводится для конструкции, выполненной из кирпичной кладки с параметрами: $E=3,9 \cdot 10^9$ Па; $\alpha=5,5 \cdot 10^{-6}$ $1/^\circ\text{C}$; $l=4$ м; $h=0,52$ м; $b=1$ м.

Получаем итоговые эпюры:

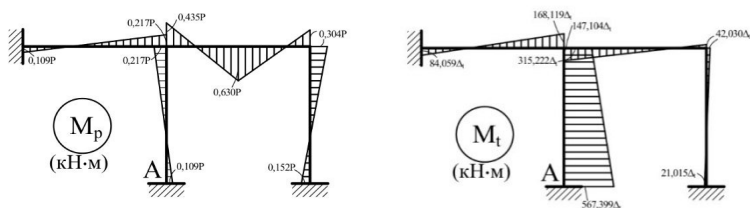


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов при заданных параметрах

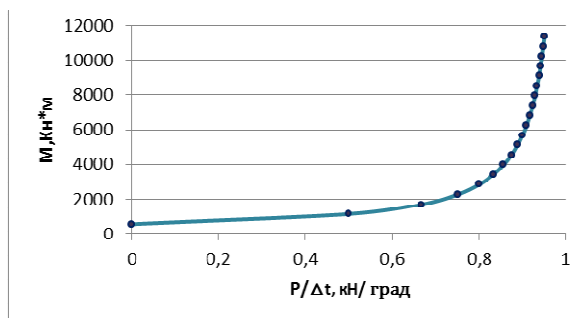


Рис. 3. График зависимости изгибающего момента в сечении A рамы от отношения нагрузки к температуре

Из графика видно, что при отношении, близкой к единице, значение момента начинает резко возрастать.

Литература

1. Дарков, А. В. Строительная механика: учебник / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – СПб.: Лань, 2010. – 656 с.

Баталова Н. А., Орлова А. С., Иванов С. П.

Поволжский государственный технологический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХСТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования влияния физической и геометрической нелинейности на напряженно-деформированное состояние двухстержневой системы.

Ключевые слова: физическая и геометрическая нелинейность, двухстержневая система, эксперимент.

Большинство материалов, используемых в строительстве, машиностроении, авиации, кораблестроении и т. д., имеет нелинейную диаграмму деформирования. При расчете конструкций из таких материалов необходимо отказываться от приближенных основных гипотез линейной строительной механики.

Определяем диаграмму деформации стержня экспериментально. Для этого в качестве стержня взят композитный резиновый жгут круглого сечения с диаметром 0,5 см, длиной 66 см, шарнирно закрепленный на подвесе. К стержню поэтапно прикладываются грузы массой от $m_1=0,5$ кг до $m_2=1$ кг.

Полученная диаграмма деформирования резинового жгута представлена на рис. 1. Из графика видно, что материал, из которого выполнен стержень (жгут), обладает физической нелинейностью.

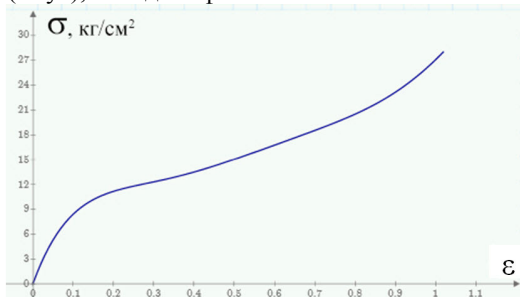


Рис. 1. График зависимости напряжения-деформации: аппроксимирующая кривая

На рис. 1 представлена диаграмма деформирования, полученная экспериментально. Для учета физической нелинейности материала экспериментальную кривую 1 теоретически аппроксимировали полиномом 6-ой степени:

$$\sigma = -358,83 \cdot \varepsilon^6 + 1421,3 \cdot \varepsilon^5 - 2178,5 \cdot \varepsilon^4 + 1655,4 \cdot \varepsilon^3 - 646,41 \cdot \varepsilon^2 + 134,13 \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где $\varepsilon = \frac{l^1 - l}{l}$.

Расчет в физически нелинейной постановке ведется по (2):

$$P = 2 \cdot \sigma \cdot A \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

где A – площадь поперечного сечения, $\cos \alpha = \frac{f}{l}$.

Экспериментально двухстержневая система моделируется с помощью резинового жгута. Схема деформирования показана на рис. 2, экспериментальное испытание – на рис. 3.

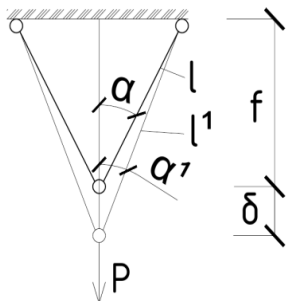


Рис. 2. Схема деформирования двухстержневой системы



Рис. 3. Экспериментальное испытание двухстержневой системы

Теоретически нагрузка выражается через перемещения с учетом физической и геометрической нелинейности по формуле:

$$P = 2 \cdot A \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sigma \cdot \frac{\cos \alpha + \xi}{\sqrt{1 + 2 \cdot \xi \cdot \cos \alpha + \xi^2}}, \quad (3)$$

где $\xi = \frac{\delta}{l}$.

В результате были построены графики зависимости нагрузка-перемещение с учетом физической и геометрической нелинейности (рис. 4).

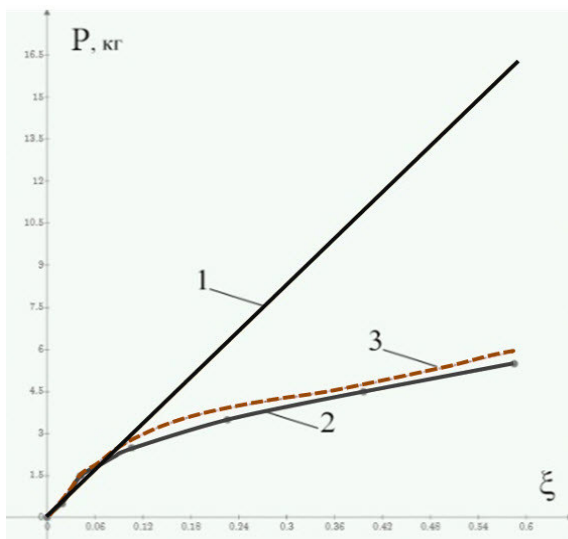


Рис. 4. Графики зависимости нагрузка-перемещение: 1 – линейная теория, 2 – эксперимент, 3 – кривая, полученная теоретически по формуле (3)

Выводы.

1. Сравнение кривых 2 и 3 показывает, что теоретические и экспериментальные результаты совпадают достаточно близко ($\approx 10\%$),
2. Из графиков видно, что влияние физической нелинейности превалирует над геометрической нелинейностью.

Литература

1. Иванов, С. П. Приложение вариационного метода В. З. Власова к решению нелинейных задач пластинчатых систем: монография / С. П. Иванов, А. С. Иванова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 248 с.

Иванов С. П., Полозов А. А., Румянцев А. С.
Поволжский государственный технологический университет

ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СТЕРЖНЕЙ ИЗ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Получены амплитудно-частотные зависимости при продольных колебаниях для стержней из нелинейно-упругих материалов.

Ключевые слова: свободные колебания, продольные колебания, нелинейно-упругий материал.

Известно, что не существует материалов, диаграмма деформирования которых идеально подчиняется закону Гука. Разной прочности бетоны, сплавы, различные композиты имеют нелинейную диаграмму [1].

Цель нашей работы заключается в исследовании продольных колебаний стержня, когда для материала выполняется следующая зависимость между нормальными напряжениями σ и деформациями ε :

$$\sigma = E\varepsilon - E_1\varepsilon^3, \quad (1)$$

где E и E_1 – постоянные, принимаются из экспериментальных данных.

Рассмотрим стержень с равномерно распределенной массой m (рис. 1).

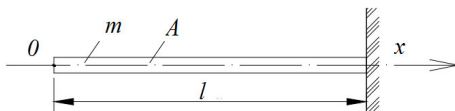


Рис. 1. Схема стержня

Продольная деформация ε выражается через перемещения $u(x, t)$ в направлении оси x (t – время):

$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x} = u_x. \quad (2)$$

Составим полную энергию деформирования системы L :

$$L = \Pi + K. \quad (3)$$

Определим потенциальную энергию Π :

$$\Pi = \iint_{x\varepsilon} \sigma A d\varepsilon dx = \int_x A \left(\frac{E u_x^2}{2} - \frac{E_1 u_x^4}{4} \right) dx. \quad (4)$$

Кинетический потенциал K :

$$K = \int_x \frac{m u_t^2}{2} dx. \quad (5)$$

Определим экстремальное значение полной энергии L , используя уравнение Лагранжа:

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial L_1}{\partial u_x} + \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial L_1}{\partial u_t} = 0, \quad (6)$$

где L_1 – подынтегральное выражение L .

Раскрывая уравнение (6), получим:

$$u_{tt} = \frac{EA}{m} u_{xx} - 3 \frac{E_1 A}{m} u_x^2 u_{xx}. \quad (7)$$

Считаем, что колебания происходят по синусоиде, тогда:

$$u(x, t) = u(x) \sin \omega t. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7), ортогонализируя по методу Бубнова-Галёркина, и, учитывая что

$$\int_0^{2\pi/\omega} \sin^2 \omega t dt = \frac{\pi}{\omega}, \quad \int_0^{2\pi/\omega} \sin^4 \omega t dt = \frac{3}{4} \frac{\pi}{\omega}, \quad (9)$$

получим

$$u'' + \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 u = \frac{3}{4} \frac{E_1}{E} \left(u' \right)^2 u'', \quad (10)$$

где $c^2 = EA/m = Eg/\gamma$ – скорость распространения продольной волны по стержню, g – ускорение свободного падения, γ – объемный вес распределенной массы стержня, ω – частота свободных колебаний.

Для примера решим задачу продольного колебания консольного стержня (рис. 1).

Запишем граничные условия: при $x=0$, $u'(0)=0$ – нормальное напряжение; $x=l$, $u(l)=0$ – перемещение.

Решаем уравнение (10) приближенно. Задаем перемещение u в виде следующего выражения, согласно граничным условиям:

$$u(x) = u_1 \left(\frac{x^2}{l^2} - 1 \right), \quad (11)$$

где u_1 – некоторая постоянная величина, имеющая размерность длины.

Подставляя (11) в (10) и ортогонализируя, получаем:

$$\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 = 1 - K_1 u_1^2, \quad (12)$$

где $K_1 = 3E_1/(16E)$, ω , ω_0 – соответственно частота нелинейных и линейных колебаний.

Из уравнения (12) видно, что частота нелинейных колебаний зависит от амплитуды u_1 колебаний.

По уравнению (12) строим амплитудно-частотные кривые при различных степенях нелинейности (рис. 2).

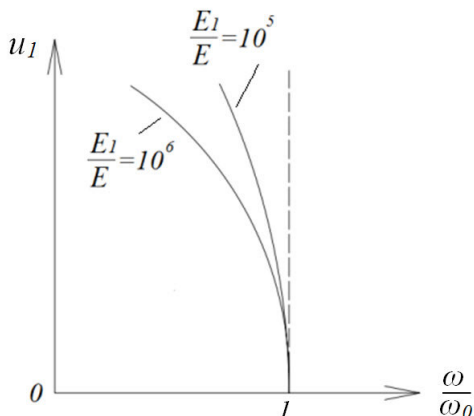


Рис. 2. Зависимость частоты нелинейных колебаний от амплитуды

По результатам расчета можно сделать следующие выводы:

1. частота колебаний стержня из физически нелинейного материала зависит от амплитуды колебаний, что не наблюдается, если диаграмма деформирования материала подчиняется закону Гука (рис. 2).
2. чем выше степень нелинейности материала E_1/E , тем все больше отклоняются влево скелетные кривые (см. графики на рис. 2).

Литература

1. Иванов, С. П. Приложение вариационного метода В. З. Власова к решению нелинейных задач пластинчатых систем: монография / С. П. Иванов, А. С. Иванова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 248 с.

Иванова А. С.

Поволжский государственный технологический университет

ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ НА КОНЦАХ

Аннотация: Представлен расчет на динамическую устойчивость стержней с различными граничными условиями на концах (с учетом физической нелинейности материала).

Ключевые слова: динамическая устойчивость, физическая нелинейность.

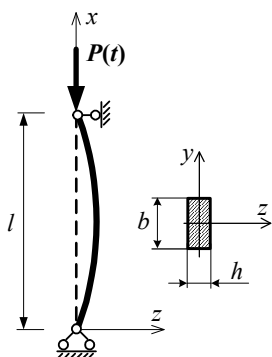


Рис. 1. Стержень под действием динамической нагрузки
деформирования стержня

Рассмотрим стержень (рис. 1) под действием сжимающей нагрузки $P(t)$, быстро изменяющейся по закону:

$$P(t) = k \cdot t \cdot A, \quad (1)$$

где k – величина, характеризующая скорость изменения сжимающего напряжения; t – время; $A = b \cdot h$ – площадь поперечного сечения стержня, l – длина.

Для многих конструкционных материалов (композиты, сплавы и др.) характерна нелинейная диаграмма деформирования [1].

Если учитывать физическую нелинейность материала, то в случае одноосного деформирования стержня зависимость между напряжением σ и деформацией ε можно принять в виде кубического полинома:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon - E_1 \varepsilon^3, \quad (2)$$

где E – начальный модуль упругости материала, E_1 – постоянная, учитывающая физическую нелинейность материала [1].

Для вывода уравнений используем энергетический метод. Потенциальная энергия Π состоит из работы внутренних сил и внешних сил $P(t)$ и q (q – поперечная нагрузка, учитывающая начальное несовершенство системы):

$$\Pi = \int \left\langle \frac{1}{2} \left[\left(E \cdot J_y \cdot w_{xx}^2 - E_1 \frac{b \cdot h^5}{320} w_{xx}^4 \right) - P(t) \cdot w_x^2 \right] - q \cdot w \right\rangle dx, \quad (3)$$

где $J_y = bh^3/12$ – осевой момент инерции поперечного сечения,
 $w(x, t)$ – прогиб стержня при потере устойчивости,

$$w_x = \frac{\partial w}{\partial x}; \quad w_{xx} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad w_{xxx} = \frac{\partial^3 w}{\partial x^3}; \quad w_t = \frac{\partial w}{\partial t}; \quad w_{tt} = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}.$$

Кинетическая энергия равна:

$$K = \frac{1}{2} \frac{\gamma \cdot A}{g} \int w_t^2 \cdot dx, \quad (4)$$

где γ – объемный вес материала, g – ускорение свободного падения.

Полная энергия деформирования стержня определяется в виде:

$$U = \Pi + K. \quad (5)$$

Определяем экстремальное значение полной энергии, используя уравнение Эйлера-Лагранжа:

$$-\frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F}{\partial w_{xx}} + \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial w_x} + \frac{d}{dt} \frac{\partial F}{\partial w_t} - \frac{\partial F}{\partial w} = 0, \quad (6)$$

где F – подынтегральное выражение (5).

Раскрывая (6), получаем дифференциальное уравнение:

$$\begin{aligned} E \cdot J_y \cdot w_{xxxx} + P(t) \cdot w_{xx} + \frac{\gamma \cdot A}{g} w_{tt} = \\ = q + \frac{3}{80} E_1 \cdot b \cdot h^5 (2 \cdot w_{xx} \cdot w_{xxx}^2 + w_{xx}^2 \cdot w_{xxxx}). \end{aligned} \quad (7)$$

Исследуем устойчивость стержней при двух видах закреплений концов: 1) концы стержня закреплены шарнирно; 2) концы защемлены.

Форма потери устойчивости стержня:

с шарнирно закрепленными концами:

$$w(x, t) = w(t) \cdot \sin m\lambda x, \quad \lambda = \frac{\pi}{l}; \quad (8)$$

с защемленными концами:

$$w(x, t) = w(t) \cdot (1 - \cos 2m\lambda x), \quad (9)$$

где $w(t)$ – функция стрелы прогиба стержня, m – число полуволов.

После некоторых преобразований получаем уравнение:

$$R_1 \cdot \frac{d^2 \zeta}{dt^{*2}} - m^2 (t^{*2} - m^2) \cdot \zeta = R_2 \frac{E_1}{E} h^2 m^8 \lambda^4 i^2 \zeta^3 + Q. \quad (10)$$

В уравнении (10) введены обозначения: для стержня с шарнирно закрепленными концами: $R_1 = 1/S^*$, $R_2 = 9/80$; для стержня с защемленными

концами: $R_1=3/16S^*$, $R_2=1,4$; $i = \sqrt{J_y / A}$ – радиус инерции;

$$t^* = \frac{P(t)}{P_{кр}} = \frac{k \cdot t \cdot A \cdot l^2}{\pi^2 E J_y}; \zeta = \frac{f}{i}; S^* = \left(\frac{P_{кр}}{E \cdot A} \right)^3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot c \cdot E}{k \cdot l} \right)^2 = \frac{\pi^8 \cdot J_y^3 \cdot c^2 \cdot E^2}{k^2 \cdot A^3 \cdot l^8}; \Gamma$$

де t^* – безразмерный параметр времени, характеризует коэффициент динамичности k_0 ; ζ – безразмерная величина стрелы прогиба; S^* – безразмерный параметр скорости изменения напряжения, $c = \sqrt{(E \cdot g) / \gamma}$ – скорость распространения деформации в материале, м/с.

Критическая сила для стержня с шарнирно закрепленными концами $P_{кр} = \frac{\pi^2 E J_y}{l^2}$, для стержня с защемленными концами $P_{кр} = \frac{4\pi^2 E J_y}{l^2}$.

На рис. 2 представлены графики зависимости ζ от t^* при $m=1$, $S^*=0,1$, $Q=0,001$, $b=h$.

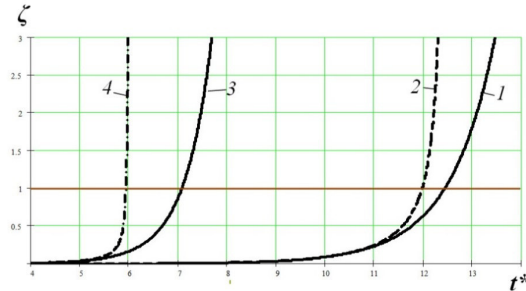


Рис. 2. Графики зависимости ζ от t^* : для стержня с шарнирно закрепленными концами: 1 – по линейной теории, 2 – с учетом физической нелинейности; для стержня с защемленными концами: 3 – по линейной теории, 4 – с учетом физической нелинейности

Из графиков 4 и 3, 2 и 1 видно, что физическая нелинейность оказывает большее влияние на параметры динамической устойчивости стержня с защемленными концами (по сравнению со стержнем с шарнирно закрепленными концами).

Литература

1. Иванов, С. П. Приложение вариационного метода В. З. Власова к решению нелинейных задач пластинчатых систем: монография / С. П. Иванов, А. С. Иванова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 248 с.

Карневич В. В.

Научный руководитель: Кривошапко С. Н., д-р техн. наук, профессор
Российский университет дружбы народов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЯМОГО СТЕРЖНЯ НА УПРУГИХ ОПОРАХ

Аннотация. Представлена программа, вычисляющая значение критической силы для центрально сжатого стержня на опорах любой жесткости. Объясняется выбор формулировки краевой задачи для возможности расчета общего случая закрепления концов, входящей в основу программы. Программа проверяется на примере исследования устойчивости нагруженного стержня в упругой системе, где полученные результаты сравниваются с существующими справочными данными.

Ключевые слова: устойчивость, предел устойчивости, критическая сила, упругие опоры, пружины.

Исследование устойчивости стержней на упругих опорах не только важно для расчета подобного рода элементов систем в машиностроении, но также и в области строительства в расчете рам с учетом упругости связующих стержней. Предмет тем более значим в строительстве, так как на практике сами стержневые закрепления в конструкциях всегда в некоторой степени упруги [1, с. 103].

Главной задачей данной работы является составление программы, которая вычисляет критическую силу для сжатого стержня исключительно исходя из значений линейных (r_{11} и r_{33}) и поворотных (r_{22} и r_{44}) жесткостей опор концов (рис. 1), а также жесткости, длины, площади сечения и допустимого напряжения самого стержня. Очевидно, что можно образовать различные виды абсолютно жестких опор приравнением жесткости определенных пружин к бесконечности. Единая модель при этом обязана устранить необходимость в составлении и решении отдельного дифференциального уравнения

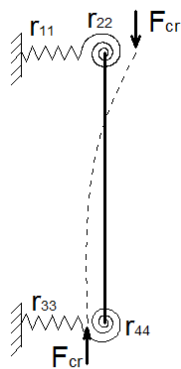


Рис. 1. Схема стержня на упругих опорах

для каждого индивидуального способа закрепления стержня либо использования табличных значений коэффициента приведения длины с внедрением соответствующей погрешности.

За математическую основу программы принято решение дифференциального уравнения для общего случая изгиба сжатого стержня на пружинных опорах, описанное в [2]. При этом для некоторых способов закрепления наблюдалось отсутствие нетривиальных решений, что потребовало модификации некоторых уравнений граничных условий в целях создания самосопряженности [3, с. 55]. Более конкретно, граничные условия дополнены с учетом поперечного влияния продольной силы при изгибе. Итак, после ввода перечисленных выше исходных параметров программа находит собственные значения краевой задачи, которые соответствуют значениям критической силы. Собственные значения подлежат поиску на интервале от нуля до допустимого напряжения материала. Программа реализована в среде MATLAB.

В качестве примера может быть рассмотрена устойчивость вертикального стержня, закрепленного с помощью упругих горизонтальных балок (рис. 2а). В такой системе горизонтальные балки действуют аналогично пружинам с жесткостью равной обратному значению перемещения конца балки от единичной силы (рис 2б). Вычислив значение этой линейной жесткости и преобразовав ее в поворотную (рис. 2в), можно с помощью программы определить критическую силу для вертикального стержня.

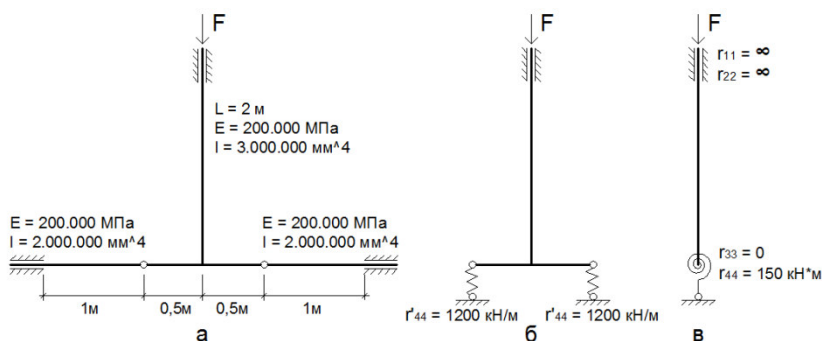


Рис. 2. Рассматриваемая стержневая система с исходными данными (а) и ее расчетная схема с линейно-упругими соединениями (б) и равнодействующей поворотно-упругой опорой (в)

Критическая сила для данного примера, полученная программой, равна 506 кН. Из этого значения определяется соответствующий коэффициент приведения длины с помощью формулы Эйлера, как результат, равный 1,71. Для сравнения значение этого коэффициента для стержней на различных упругих опорах можно найти в графиках, представленных И. А. Биргером [4]. Отсюда, учитывая соответствующую схему закрепления и значение поворотной жесткости пружины рассматриваемого примера, искомый коэффициент равен $\sim 1,7$, что вполне согласуется с результатом, полученным программой.

Аналогично программа проверяется на других примерах. Таким образом, данная программа может весьма успешно использоваться на практике в задачах устойчивости центрально сжатых стержней постоянного сечения с любыми видами опор концов.

Литература

1. Алфутов, Н. А. Основы расчета на устойчивость упругих систем / Н. А. Алфутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 312 с.
2. Кривошапко, С. Н. Основы устойчивости упругих систем [Текст]: учебное пособие / С. Н. Кривошапко. – М.: изд-во РУДН, 1992. – 80 с.
3. Коллатц, Л. Задачи на собственные значения / Л. Коллатц. – М.: Наука, 1968. – Т. 2. – 504 с.
4. Биргер, И. А. Прочность. Устойчивость. Колебания / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – Т. 3. – 568 с.

УДК 539.376

Колпаков А. А., Иванов С. П.

Поволжский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ БАЛОК ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ НА КОНЦАХ

Аннотация. В данной работе рассматривается метод расчета балок с учетом физической нелинейности при разных граничных условиях на концах.

Ключевые слова: балка, физическая нелинейность.

В действительности в природе нет материалов, идеально подчиняющихся закону Гука. Все они в той или иной мере обладают физической нелинейностью. В частности, для расчета можно воспользоваться зависимостью между напряжением σ и деформацией ε в виде полинома:

$$\sigma = E\varepsilon - E_1\varepsilon^3, \quad (1)$$

где E и E_1 – постоянные, определяемые из экспериментальных данных.

При изгибе балки продольные деформации равны

$$\varepsilon = -zw_{xx}^2, \quad (2)$$

где $w_x = \frac{dw}{dx}$, $w_{xx} = \frac{d^2w}{dx^2}$ и т. д.

Внутренняя энергия деформации имеет вид:

$$U = \int_x^{\frac{h}{2}} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} b \cdot \sigma \cdot d\varepsilon \cdot dz \cdot dx, \quad (3)$$

где b , h – соответственно ширина и высота поперечного сечения балки.

С учетом (1) и (2) получим

$$U = \frac{Eb}{24} h^2 w_{xx}^2 - \frac{E_1 b}{320} h^5 w_{xx}^4. \quad (4)$$

Определяем полную энергию деформации балки, состоящую из работы внутренних и внешних сил

$$\Pi = \int (U + qw) dx, \quad (5)$$

где q – распределенная внешняя нагрузка.

Определяем экстремальное значение Π , используя уравнение Эйлера-Лагранжа. Предварительно выражаем уравнение (5) через прогиб w и его производные

$$-\frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F}{\partial w_{xx}} + \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial w_x} - \frac{\partial F}{\partial w} = 0, \quad (6)$$

где F – подынтегральная функция (5).

Окончательное уравнение имеет вид:

$$Elw_{xxxx} = q + \frac{3}{80} E_1 b h^5 (2w_{xx} w_{xxx}^2 + w_{xx}^2 w_{xxxx}). \quad (7)$$

Уравнение (7) решаем совместно с граничными условиями на концах балки в рядах.

1. Шарнирное закрепление концов балки (рис. 1).

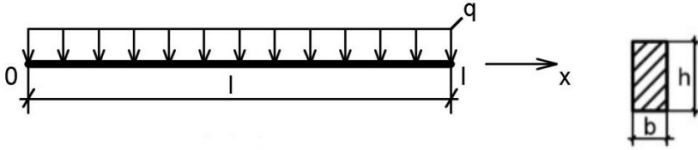


Рис. 1. Схема балки без опор. Поперечное сечение балки

Граничные условия: при $x=0$: $w(0)=0$, $w_{xx}(0)=0$; $x=l$: $w(l)=0$, $w_{xx}(l)=0$.

Принимаем прогиб $w = w_1 \sin \pi x / l$ и подставляем в (7), после преобразований получаем нелинейное алгебраическое уравнение:

$$w_1 = \frac{2ql^3}{\pi^4 EI} + \frac{9}{80} \frac{E_1}{E} h^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 w_1^3. \quad (8)$$

2. Жесткое защемление концов балки (рис. 1).

Граничные условия: при $x=0$: $w(0)=0$, $w_x(0)=0$; $x=l$: $w(l)=0$, $w_x(l)=0$.

Задаемся прогибом $w = w_1 (1 - \cos 2\pi x / l)$, после подстановки в (7) и аналогичных преобразований получаем:

$$w_1 = \frac{ql^3}{8\pi^4 EI} + \frac{9}{5} \frac{E_1}{E} h^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 w_1^3. \quad (9)$$

Для примера рассмотрим балку, задаваясь следующими характеристиками: материал - бетон, $E_1/E=10^5$, $E=3 \cdot 10^7$ кН/м², $l=3,14$ м, $b=h=0,5$ м, $I=bh^3/12$.

Решим нелинейные алгебраические уравнения (8), (9), используя метод последовательных приближений. В первом приближении запишем прогиб:

$$w_1 = w_{10} + w_{11}. \quad (10)$$

В результате решения уравнение прогиба при шарнирном опирании балки примет вид:

$$w_1 = w_{10} \left[1 + \frac{9}{80} \frac{E_1}{E} h^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 w_{10}^2 \right]. \quad (11)$$

Аналогично при жестком защемлении балки:

$$w_1 = w_{10} \left[1 + \frac{9}{5} \frac{E_1}{E} h^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 w_{10}^2 \right]. \quad (12)$$

По уравнениям (11) и (12) построим графики зависимости прогиба от нагрузки (рис. 2).

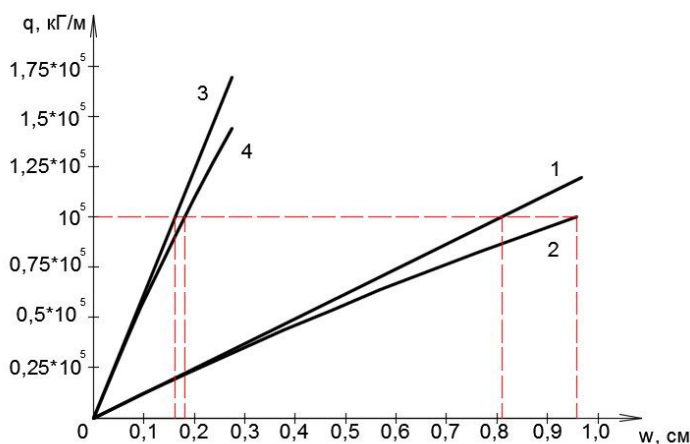


Рис. 2. Графики зависимости прогиба w от нагрузки q :

1, 2 – соответственно без учета и с учетом физической нелинейности при шарнирном опирании концов балки; 3, 4 – соответственно без учета и с учетом физической нелинейности при жестком защемлении концов балки

Выводы.

1. Исходя из полученных результатов, можно заметить, что влияние физической нелинейности больше проявляется при жестком закреплении концов балки.

2. Из графиков видно, если учитывать физическую нелинейность, то значение прогиба в обоих случаях принимает большее значение, по сравнению с линейными решением.

Мингалиев Д. Д.

Научный руководитель: Хайруллин Ф. С., д-р физ.-мат. наук, профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ РАЗЛИЧНОГО ПОРЯДКА ДЛЯ РАСЧЕТА ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК

Аннотация. В работе предлагается метод расчета оболочек сложной формы, в котором используются аппроксимирующие функции разного порядка внутри области и на границах.

Ключевые слова: оболочка, вариационный метод, аппроксимирующие функции.

В работе [1] рассматривался метод, в котором для расчета тонких оболочек сложной формы использовались аппроксимирующие функции с конечными носителями произвольного порядка. В данной работе для задания искомых функций предлагается использовать аппроксимирующие функции в виде полиномов, которые имеют разные порядки внутри рассматриваемых областей и на их границах.

Рассмотрим тонкую оболочку, у которой срединная поверхность Ω может быть разбита на подобласти Ω_k в виде криволинейных четырехугольников (рис. 1). Границы подобласти Ω_k описываются уравнениями $\alpha_2 = f_1(\alpha_1)$, $\alpha_2 = f_2(\alpha_1)$, $\alpha_1 = f_3(\alpha_2)$, $\alpha_1 = f_4(\alpha_2)$, где f_i – однозначные функции класса C^1 .

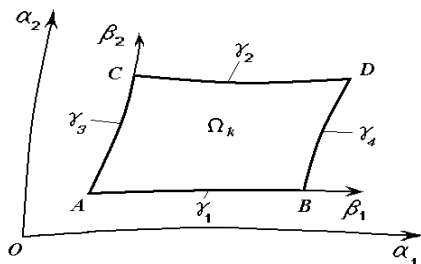


Рис. 1

В подобласти Ω_k вводится локальная система координат β_1, β_2 , которая связана с системой координат α_1, α_2 следующим образом:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= f_3\left(g_3\left(s_3^*\beta_2\right)\right)(1-\beta_1)+f_4\left(g_4\left(s_4^*\beta_2\right)\right)\beta_1+\left[g_1\left(s_1^*\beta_1\right)-\alpha_{11}(1-\beta_1)-\right. \\ &\quad \left.-\alpha_{12}\beta_1\right](1-\beta_2)+\left[g_2\left(s_2^*\beta_1\right)-\alpha_{13}(1-\beta_1)-\alpha_{14}\beta_1\right]\beta_2, \\ \alpha_2 &= f_1\left(g_1\left(s_1^*\beta_1\right)\right)(1-\beta_2)+f_2\left(g_2\left(s_2^*\beta_1\right)\right)\beta_1+\left[g_3\left(s_3^*\beta_2\right)-\alpha_{21}(1-\beta_2)-\right. \\ &\quad \left.-\alpha_{23}\beta_2\right](1-\beta_1)+\left[g_4\left(s_4^*\beta_2\right)-\alpha_{22}(1-\beta_2)-\alpha_{24}\beta_2\right]\beta_1,\end{aligned}\quad (1)$$

где

$$\begin{aligned}s_i &= q_i(\alpha_1) \equiv \int_{\alpha_{1,2i-1}}^{\alpha_1} \sqrt{A_{1i}^2 + A_{2i}^2 f_j'^2(\alpha_1)} d\alpha_1, \\ s_j &= q_j(\alpha_2) \equiv \int_{\alpha_{2,i}}^{\alpha_2} \sqrt{A_{1j}^2 + A_{2j}^2 f_j'^2(\alpha_2)} d\alpha_2, \quad s_i^* = q_i(\alpha_{1,2i}), \quad s_j^* = q_j(\alpha_{2,j}) -\end{aligned}$$

длины дуг кривых γ_i, γ_j ; $\alpha_1 = g_i(s_i)$, $\alpha_2 = g_j(s_j)$ – функции обратные к функциям $s_i = q_i(\alpha_1)$, $s_j = q_j(\alpha_2)$ $j = i + 2$, $i = \overline{1,2}$; A_{1i}, A_{2i} – коэффициенты первой квадратичной формы, вычисленные на линиях γ_i ; $(\alpha_{1i}, \alpha_{2i})$ – координаты угловых точек A, B, C, D ; $i = \overline{1,4}$.

Система координат β_1, β_2 введена таким образом, что на граничных линиях γ_i уравнения (1) переходят в уравнения этих линий и координатная сетка является равномерной.

Для определения напряженно-деформированного состояния оболочек используется вариационный принцип Лагранжа [2], на основании которого

$$\delta E = \sum_{k=1}^K \delta E_k(U) = \sum_{k=1}^K \int_{\Omega_k} (\delta \Pi_k - \delta' W_k) d\Omega = 0, \quad (2)$$

где E , E_k – соответственно полная энергия оболочки и подобласти Ω_k ; Π_k , $\delta' W_k$ – соответственно удельная потенциальная энергия де-

формации и вариация работы внешних сил единицы площади подобласти Ω_k ; $U = \{u_1, u_2, w, \psi_1, \psi_2\}^T$ – вектор перемещений и углов сдвига подобласти Ω_k оболочки в системе координат α_1, α_2 .

В работе [1] для аппроксимации искомых функций в подобласти Ω_k использовалось соотношение:

$$U = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N D_{mn}^k t_m(\beta_1) t_n(\beta_2). \quad (3)$$

Здесь $D_{mn}^k = \{D_{mn1}^k, D_{mn2}^k, D_{mn3}^k, D_{mn4}^k, D_{mn5}^k\}^T$ – вектор неизвестных постоянных; M, N – порядки аппроксимирующих функций.

Функции формы имеют вид:

$$t_1(\beta_1) = 1 - \beta_1, \quad t_2(\beta_1) = \beta_1, \quad t_m(\beta_1) = t_1(\beta_1)[t_2(\beta_1)]^{m-2} \quad (m = \overline{3, M}).$$

Представим правую часть соотношения (3) в следующем виде:

$$U = \sum_{m=1}^2 \sum_{n=1}^2 D_{mn}^k t_m(\beta_1) t_n(\beta_2) + \sum_{m=3}^{M_1} D_{m1}^k t_m(\beta_1) t_1(\beta_2) + \sum_{m=3}^{M_2} D_{m2}^k t_m(\beta_1) t_2(\beta_2) + \\ + \sum_{n=3}^{N_1} D_{1n}^k t_1(\beta_1) t_n(\beta_2) + \sum_{n=3}^{N_2} D_{2n}^k t_2(\beta_1) t_n(\beta_2) + \sum_{m=3}^M \sum_{n=3}^N D_{mn}^k t_m(\beta_1) t_n(\beta_2). \quad (4)$$

В формуле (4) неизвестные постоянные в первой сумме определяют перемещения угловых точек, со второго по пятую суммах – перемещения точек на граничных линиях, в последней сумме – перемещения точек внутри области Ω_k . В отличие от соотношения (3) здесь порядки аппроксимирующих функций внутри области и на границах различны.

Подставляя для каждой подобласти Ω_k аппроксимирующие функции (4) в вариационное уравнение (2), после численного интегрирования по некоторой квадратурной формуле получается система линейных уравнений относительно неизвестных постоянных D_{mn}^k .

Литература

1. Хайруллин, Ф. С. Метод расчета тонких оболочек сложной формы / Ф. С. Хайруллин // Известия РАН. Механика твердого тела. – 1998. – № 3. – С. 30-33.

2. Абовский, Н. П. Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек / Н. П. Абовский, Н. П. Андреев, А. П. Деруга. – М.: Наука, 1978. – 288 с.
УДК 624.04

Николаева А. Р.

Научный руководитель: Иванов О. Г., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Аннотация. На базе глубокого изучения различных видов колебаний можно установить оптимальные пропорции элементов конструкций. Достаточно интенсивные колебания могут привести к серьезным последствиям. Только на основе теории колебаний могут быть решены важные практические проблемы динамики сооружений.

Ключевые слова: строительная механика, балка, колебания.

Рассмотрим в качестве объекта исследования систему с конечным числом степеней свободы – упругую невесомую балку с двумя сосредоточенными массами, представленную на рис. 1. Такая балка имеет две степени свободы, поэтому она характеризуется двумя частотами свободных колебаний – ω_1, ω_2 .

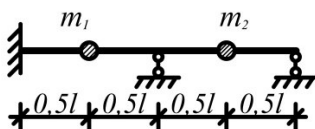


Рис. 1. Расчетная схема

Для определения частот колебаний можно составить следующие выражения перемещения точек приложения сосредоточенных масс под действием сил инерции этих масс:

$$\begin{cases} y_1 = \delta_{11} \cdot x_1 + \delta_{12} \cdot x_2; \\ y_2 = \delta_{21} \cdot x_1 + \delta_{22} \cdot x_2; \end{cases} \quad (1)$$

где δ_{ij} – перемещение массы i от единичной силы, приложенной по направлению движения массы j ; x_i – силы инерции.

Преобразуем систему уравнений:

$$\begin{cases} (\delta_{11} \cdot m_1 - \frac{1}{\omega^2}) \cdot A_1 + \delta_{12} \cdot m_2 \cdot A_2 = 0; \\ \delta_{21} \cdot m_1 \cdot A_1 + (\delta_{22} \cdot m_2 - \frac{1}{\omega^2}) \cdot A_2 = 0; \end{cases} \quad (2)$$

Решение системы (2) получится ненулевым, только если определитель, составленный из коэффициентов при амплитудах, равен нулю.

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11} \cdot m_1 - \frac{1}{\omega^2} & \delta_{12} \cdot m_2 \\ \delta_{21} \cdot m_1 & \delta_{22} \cdot m_2 - \frac{1}{\omega^2} \end{vmatrix} = 0; \quad (3)$$

На основании векового уравнения (3), раскрывая определитель, получим решение, которое имеет следующий вид:

$$\frac{1}{\omega_{1,2}^2} = \frac{1}{2} \cdot [\delta_{11} \cdot m_1 + \delta_{22} \cdot m_2 \pm \sqrt{(\delta_{11} \cdot m_1 + \delta_{22} \cdot m_2)^2 - 4 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot (\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{12}^2)}]; \quad (4)$$

Чтобы выразить зависимость $\omega(\frac{m_1}{m_2})$, проведем замену, пусть

$$m_1 = a \cdot m_2.$$

Найдем неизвестные коэффициенты δ_{ij} методом Верещагина. Для этого строим эпюры изгибающих моментов от действия единичных сил (рис. 2).

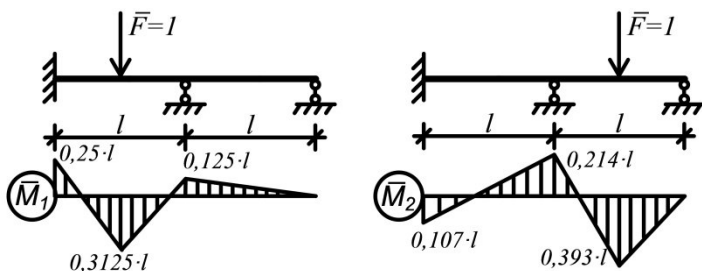


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов

Подставим найденные коэффициенты

$$\delta_{11} = \frac{0,058 \cdot l^3}{EI}; \delta_{12} = -\frac{0,029 \cdot l^3}{EI}; \delta_{22} = \frac{0,057 \cdot l^3}{EI} \text{ в выражение (4) и, учи-}$$

тывая замену, получим:

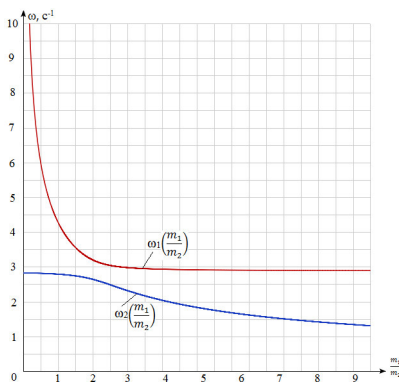
$$\frac{1}{\omega_{1,2}^2} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{0,058 \cdot l^3}{EI} \cdot a \cdot m_2 + \frac{0,057 \cdot l^3}{EI} \cdot m_2 \pm \sqrt{\left(\frac{0,058 \cdot l^3}{EI} \cdot a \cdot m_2 + \frac{0,057 \cdot l^3}{EI} \cdot m_2 \right)^2 - \frac{0,00986 \cdot l^3}{EI} \cdot a \cdot m_2^2} \right]. \quad (4)$$

Отсюда можем выразить зависимость $\omega\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$, которую

изобразим графически (рис. 3), принимая $m_2 = 1$ кг. Проведенное исследование позволяет

сделать вывод, что $\omega\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$ –

квадратичная зависимость, и при увеличении отношения



$\frac{m_1}{m_2}$ ускорения ω_1 и ω_2 будут уменьшаться.

Рис. 3. График зависимости $\omega\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$

Литература

1. Иванов, С. П. Строительная механика. Часть III. Устойчивость, динамика и предельное состояние: курс лекций / С. П. Иванов, О. Г. Иванов. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. – 107 с.
2. Дарков, А. В. Строительная механика: учеб. для строит. спец. вузов / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – М.: Высшая школа, 1986. – 606 с.
3. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики: учеб. пособие для вузов / Г. К. Клейн и др. – М.: Высшая школа, 1972. – 320 с.

Полянина Ю. С., Иванов С. П.

Поволжский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БАЛОК С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Аннотация. Разрабатывается методика расчета балок на изгиб при наличии нелинейной диаграммы деформирования и геометрической нелинейности.

Ключевые слова: балка, физическая нелинейность, геометрическая нелинейность.

Из работы [1] видно, что существует достаточно много материалов, которые обладают в той или иной мере физической нелинейностью.

Зависимость между нормальным напряжением σ и деформацией ε принимаем в следующем виде:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon - E_1 \varepsilon^3, \quad (1)$$

где E, E_1 – постоянные, принимаются по экспериментальным данным.

При малой высоте сечения или большом пролете балки могут возникнуть значительные перемещения, которыми при проектировании нельзя пренебрегать.

При больших прогибах w выражение деформации ε имеет вид:

$$\varepsilon = u_x + \frac{1}{2} w_x^2 - z \cdot w_{xx}, \quad (2)$$

где u – продольные перемещения, $u_x = \frac{du}{dx}$; $w_x = \frac{dw}{dx}$; $w_{xx} = \frac{d^2 w}{dx^2}$.

Запишем уравнение равновесия, используя энергетический метод. Полная энергия Π деформирования состоит из работы U внутренних сил и работы A внешних сил:

$$\Pi = U + A. \quad (3)$$

Здесь

$$U = \int_x \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int \sigma \cdot d\varepsilon \cdot dz \cdot dx, \quad (4)$$

$$A = \int_x q \cdot w \cdot dx. \quad (5)$$

Определяем экстремальное значение полной энергии, используя уравнение Эйлера-Лагранжа:

$$\begin{cases} -\frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F}{\partial w_{xx}} + \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial w_x} - \frac{\partial F}{\partial w} = 0, \\ -\frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F}{\partial u_{xx}} + \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial u_x} - \frac{\partial F}{\partial u} = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где F – подынтегральное выражение (3).

Раскрывая уравнение (6) получим систему:

$$\begin{aligned} EI \cdot w_{xxxx} &= q + \Phi_1^{нел}, \\ EA \cdot u_{xx} &= \Phi_2^{нел}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ – осевой момент инерции поперечного прямоугольного сечения балки; $A = b \cdot h$ – площадь поперечного сечения; b – ширина; h – высота сечения.

Нелинейные части определяются из уравнений:

$$\begin{aligned} \Phi_1^{нел} &= \frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F^{нел}}{\partial w_{xx}} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F^{нел}}{\partial w_x} + \frac{\partial F^{нел}}{\partial w} = 0, \\ \Phi_2^{нел} &= \frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F^{нел}}{\partial u_{xx}} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F^{нел}}{\partial u_x} + \frac{\partial F^{нел}}{\partial u} = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

где $F^{нел}$ – нелинейные части подынтегрального выражения (3).

Система (7) включает уравнения равновесия балки в перемещениях при наличии физической и геометрической нелинейности.

Нелинейные дифференциальные уравнения (7) решаются совместно с граничными условиями на краях балки.

В качестве примера рассчитаем балку на двух шарнирно-неподвижных опорах (рис. 1).

Запишем граничные условия для краев:

при $x = 0$: $w(0) = 0$ – прогиб; $w_{xx}(0) = 0$ – изгибающий момент;

$u(0) = 0$ – продольное перемещение;

при $x = l$: $w(l) = 0$; $w_{xx}(l) = 0$; $u(l) = 0$.

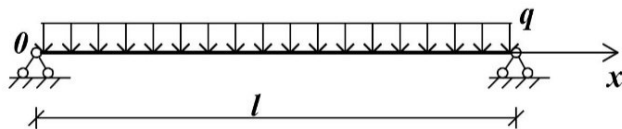


Рис. 1. Схема балки

Уравнения (7) решались численно методом Рунге-Кутты и в рядах при следующих параметрах: $b = h = 0,2\text{ м}$, $l = 5\text{ м}$ (рис. 1).

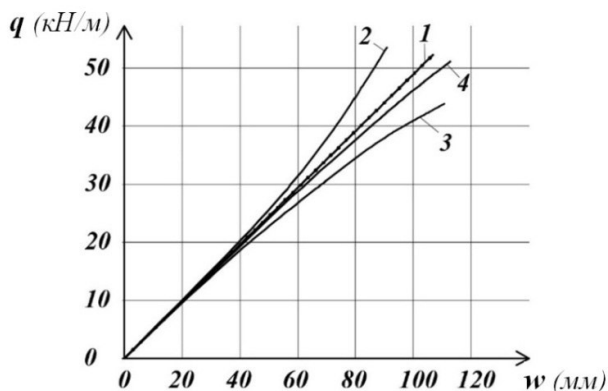


Рис. 2. Графики зависимости прогиба от нагрузки: 1 – по линейной теории, 2 – с учетом геометрической нелинейности, 3 – с учетом физической нелинейности, 4 – с учетом физической и геометрической нелинейности

На основе выполненных расчетов построены графики (рис. 2) и установлено, что:

1. при малых значениях соотношения E_1/E ($E_1/E = 10^3$) большее влияние на деформированное состояние балки оказывает геометрическая нелинейность (см. кривую 1).

2. при увеличении соотношения E_1/E ($E_1/E = 10^5$) начинает влиять также и физическая нелинейность, соответственно кривая отклоняется вправо (см. график 4).

Литература

1. Иванов, С. П. Приложение вариационного метода В. З. Власова к решению нелинейных задач пластинчатых систем: монография / С. П. Иванов, А. С. Иванова. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – 248 с.

Сахбиев О. М.

Научный руководитель: Хайруллин Ф. С., д-р физ. мат. наук, профессор
 Казанский национальный исследовательский технологический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНЫХ ФУНКЦИЙ С КОНЕЧНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ

Аннотация. В работе [1] был предложен метод определения напряженно-деформированного состояния трехмерных конструкций сложной формы. Напряжения и деформации моделировались в декартовой системе координат, что приводило к сложностям использования этого метода для расчетов тонкостенных конструкций. В данной работе предлагается использовать криволинейную систему координат с использованием тех же аппроксимирующих функций.

Ключевые слова: трехмерные функции с конечными носителями, аппроксимация, вариационный метод, расчет оболочек.

Рассмотрим состояния конструкции, когда перемещения и деформации малы, материал изотропен, действует закон Гука. Введем криволинейную систему координат $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ (рис. 1).

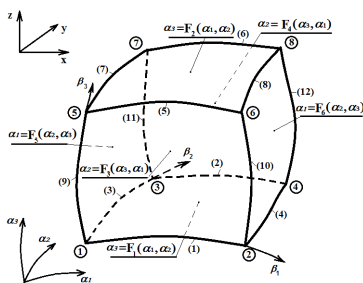


Рис. 1

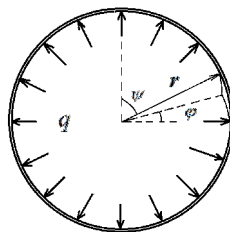


Рис. 2

Деформации в криволинейной системе координат $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ [2]:

$$\varepsilon_{ii} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial u_i}{\partial \alpha_i} + k_{ij} u_j + k_{il} u_l,$$

$$\gamma_{ij} = 2 \cdot \varepsilon_{ij} = \frac{1}{A_j} \frac{\partial u_i}{\partial \alpha_j} + \frac{1}{A_i} \frac{\partial u_j}{\partial \alpha_i} - k_{ij} u_i - k_{ji} u_j, \quad i = \overline{1,3}, \quad (1)$$

где u_1, u_2, u_3 – компоненты перемещения в системе координат a_1, a_2, a_3 ; A_i – коэффициенты Ляме; k_{ij} – главные кривизны; $\gamma_{12}, \gamma_{23}, \gamma_{31}$ – углы сдвига; индексы j, l получаются круговой перестановкой индексов i, j, l .

Конструкция разбивается на подобласти в виде криволинейных шестигранников V_k (рис. 1) [1]. Грани шестигранника описываются в криволинейной системе координат $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ уравнениями $\alpha_3 = F_1(\alpha_1, \alpha_2)$, $\alpha_3 = F_2(\alpha_1, \alpha_2)$ и т. д. где $F_i, i = \overline{1,6}$ – однозначные функции класса C^1 . На рисунке указаны номера сторон и угловых точек (узлов) подобласти.

В подобласти V_k вводится криволинейная система координат $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, которая связана с $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ следующим образом:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= F_5(\alpha_{25}, a_{35})(1 - \beta_1) + F_6(a_{26}, a_{36})\beta_1 + a_{10}, \\ \alpha_2 &= F_3(a_{33}, a_{13})(1 - \beta_2) + F_4(a_{34}, a_{14})\beta_2 + a_{20}, \\ \alpha_3 &= F_1(a_{11}, a_{21})(1 - \beta_3) + F_2(a_{12}, a_{22})\beta_3 + a_{30}. \end{aligned} \quad (2)$$

Функции $a_{25} = a_{25}(\beta_2, \beta_3)$, $a_{35} = a_{35}(\beta_2, \beta_3)$ и т. д., входящие в соотношения (2), выбираются так же, как в работе [1].

Для получения разрешающей системы уравнений используется вариационный принцип Лагранжа [3]:

$$\sum_{k=1}^K \int_{\Omega_k} (\delta \Pi_k - \delta W_k) d\Omega = 0, \quad (3)$$

где Π_k , δW_k – удельная потенциальная энергия деформации и вариация работы внешних сил подобласти V_k ; K – количество подобластей.

В подобласти V_k компоненты перемещения $U = \{u_1, u_2, u_3\}^T$ аппроксимируются функциями, такими же, как в работе [1].

С помощью представленного метода была рассчитана тонкая сферическая оболочка, нагруженная равномерным внутренним давлением

$q = 1 \text{ МПа}$ (рис. 2). В качестве криволинейной системы координат использовалась сферическая система координат.

Внутренний радиус оболочки 49,5 см, внешний радиус 50 см, упругие постоянные: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $\nu = 0,3$. В силу симметрии рассматривалась 1/8 оболочки, $49,5 \text{ см} \leq r \leq 50 \text{ см}$; $0 \leq \varphi = \frac{\pi}{2}$; $0 \leq \psi = \frac{\pi}{2}$. Расчет производился одним трехмерным конечным элементом. Для устранения особой точки $\psi = 0$ (полюс сферы), в которой одна грань конечного элемента вырождалась в точку, эта точка ограничивалась поверхностью $\psi = 0,001$.

Коэффициенты Ляме и кривизны вычисляются по формулам [2]:

В таблице приводятся напряжения σ_{rr} , $\sigma_{\varphi\varphi}$ и $\sigma_{\psi\psi}$.

	$L=4, M=N=6$					см
	49,5	49,625	49,75	49,875	50	
σ_{rr}	-1,004	-0,759	-0,517	-0,278	-0,041	МПа
$\sigma_{\varphi\varphi}$	49,483	49,356	49,230	49,105	48,982	
$\sigma_{\psi\psi}$	49,480	49,349	49,220	49,092	48,965	

На основании данных из таблицы подсчитана меридианная сила $S=0,5 \cdot 49,22=24,61 \text{ МН/м}$ и кольцевая сила $T=0,5 \cdot 49,23=24,62 \text{ МН/м}$. Согласно аналитической формуле из работы [4], $S=T=24,75 \text{ МН/м}$. Как видим, разница составляет менее 1%.

Таким образом, представленный метод можно эффективно использовать для расчета тонких оболочек даже одним конечным элементом, если нагрузка симметрична по двум координатам.

Литература

1. Хайруллин, Ф. С. О методе расчета трехмерных конструкций сложной формы / Ф. С. Хайруллин, О. М. Сахбиев // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т.17, №23. – С. 328-330.
2. Новожилов, В. В. Теория упругости / В. В. Новожилов. – Л.: Судпромгиз, 1958. – 371 с.
3. Абовский, Н. П. Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек / Н. П. Абовский, Н. П. Андреев, А. П. Деруга. – М.: Наука, 1978. – 288 с.
4. Канторович, З. Б. Основы расчета химических машин и аппаратов / З. Б. Канторович. – М.: Машгиз, 1960. – 744 с.

Филимонова А. А.

Научный руководитель: Иванов О. Г., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

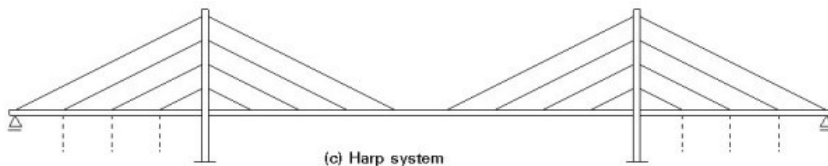
РАСЧЁТ ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ БОЛЬШЕПРОЛЁТНЫХ ВАНТОВЫХ МОСТОВ

Аннотация. Вантовые (висячие) конструкции – распространённый в 21 веке вид конструктивного решения, используемый для покрытия больших пролётов сооружений или придания устойчивого положения вертикальным формам (мачтам). Данный вид конструктива очень популярен из-за своей экономичности и из-за возможности наиболее широкого раскрытия несущей способности его элементов.

Ключевые слова: мосты, ванты, расчёт вантовых конструкций, строительная механика, большепролетные конструкции.

Чаще всего данный вид конструктива встречается в мостостроении. Причина этого кроется в том, что ванты, являющиеся главными несущими элементами мостов, работают на растяжение, то есть их прочностные характеристики используются по максимуму. Такого типа конструкции достаточно экономичны, однако они не обладают высокой жесткостью (чувствительны к колебаниям). Поэтому очень важно правильно рассчитать частоту собственных колебаний данного сооружения, чтобы предотвратить резонанс с ветровыми колебаниями и, впоследствии, повреждение или разрушение моста.

Рассмотрим вантовый мост схемы «Арфа» (рисунок).



Вантовый мост схемы «Арфа»

Балка данного моста представляет собой комбинированную систему, так как точно приложенные к ней усилия от вант разбивают её на участки. Вследствие этого нельзя применить дифференциальные уравнения

изгиба для определения частот ее колебаний. Воспользуемся численным методом расчёта.

Основное уравнение вектора прогибов балки $\vec{\eta}$ в точках 1, 2, ..., n выглядит следующим образом:

$$\vec{\eta} = L_{\eta}^* \vec{P}, \quad (1)$$

где $\vec{P}$ – вектор сил, приложенных в точках балки (система сил от временной нагрузки);

L_{η}^* – матрица влияния прогибов для данной системы, в свою очередь равная:

$$L_{\eta}^* = A^{-1} L_1 = \frac{d^3}{EI} (E + \rho_0 \bar{L}_1 S_n A_n)^{-1} \bar{L}_1 = \frac{d^3}{EI} \bar{L}_{\eta}^*, \quad (2)$$

где d – длина панели балки (узловые точки принимаются в местах соединения балки с вантами и в некоторых промежутках между ними);

EI – жесткость балки;

$\rho_0, \bar{L}_1, S_n, A_n, L_1$ – матрицы, определяющиеся по формулам главы VII сборника [2].

Заменим вектор сил $\vec{P}$ вектором сосредоточенных сил инерции:

$$\vec{V}_j = m \omega^2 B_1 \vec{\eta}, \quad (3)$$

где m – масса одного погонного метра половины моста (приходящаяся на 1 кабель);

$$B_1 = \frac{5d}{6} \begin{vmatrix} 1 & 0,1 & 0,1 & . & . \\ 0,1 & 1 & 0,1 & . & . \\ 0,1 & 0,1 & 1 & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & 0,1 & 1 \end{vmatrix} = \frac{5d}{6} \bar{B}_1 \quad (4) - \text{диагональная матрица,}$$

обоснование которой дается в [3].

Подставим (2) и (3) с учётом (4) в (1):

$$\vec{\eta} = \frac{5m\omega^2 d^4}{6EI} \bar{L}_{\eta}^* \bar{B}_1 \vec{\eta}.$$

Упростим данную формулу, введя новые переменные:

$$C = \frac{5}{6} \bar{L}_\eta^* \bar{B}_1,$$

$$\lambda = \frac{EI}{md^4 \omega^2},$$

$$(C - \lambda E) \vec{\eta} = 0.$$

Последнее равенство возможно, либо когда вектор перемещений равен нулю, либо когда определитель этого равенства зануляется.

Первое условие невозможно, так как отсутствие перемещений означает и отсутствие колебаний. Следовательно, предположим второе.

$$|C - \lambda E| = 0. \quad (5)$$

Из уравнения (5) определим значения характеристического числа λ_n и вычислим частоты колебаний ω_i (l – длина пролета моста):

$$\omega_i = \frac{\kappa_i}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}};$$

$$\kappa_i = \left(\frac{l}{d}\right)^2 \sqrt{\frac{1}{\lambda_i}}.$$

Имея численные значения компонентов формул, можно вычислить интересующие нас частоты колебаний моста, с помощью которых впоследствии улучшить свойства устойчивости конструкции к ветровым возбуждениям (следовательно, её жесткость, безопасность и долговечность). Расчёты рациональнее проводить с использованием ЭВМ, чтобы избежать ошибок.

Литература

1. Численный энергетический метод в приложении к большепролётным вантовым мостам: дис... канд. техн. наук / Рагех Басем Осами Саиед. – СПб.: СПбГАСУ, 2014. – 152 с.
2. Смирнов, В. А. Висячие мосты больших пролётов / В. А. Смирнов. – М.: Высшая школа, 1970. – 408 с.
3. Смирнов, А. Ф. Устойчивость и колебания сооружений / А. Ф. Смирнов. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 571 с.

УДК 515.2

Китаев А. В., Свицерский О. В.

Научный руководитель: Новоселов Н. Т., доцент

Поволжский государственный технологический университет

НЕВОЗМОЖНЫЕ ФИГУРЫ В РЕАЛЬНОМ МИРЕ

Аннотация. Рассматриваются невозможные фигуры и способы создания их в реальном мире.

Ключевые слова: невозможные фигуры, проекция, проецирование трехмерной фигуры.

Невозможные фигуры – это один из видов оптических иллюзий. Фигура, кажущаяся на первый взгляд проекцией обычного трёхмерного объекта, при внимательном рассмотрении которой создаётся иллюзия невозможности существования такой фигуры в трёхмерном пространстве. На рис. 1 приведены примеры подобных фигур.

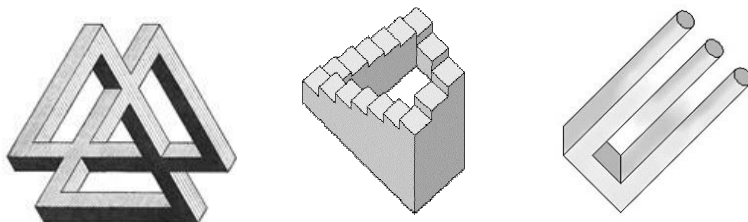


Рис. 1

Многие считают, что невозможные фигуры не могут быть созданы в реальном мире. Однако из геометрии нам известно, что чертёж, изображённый на листе бумаги, является проекцией трёхмерной фигуры на плоскость. Следовательно, любая фигура, нарисованная на листе бумаги должна существовать в трёхмерном пространстве.

Конечно, ни одну из невозможных фигур нельзя создать, действуя прямолинейно. Например, если вы возьмете три одинаковых деревян-

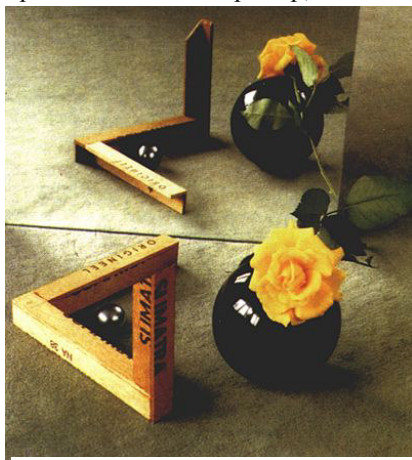


Рис. 2

ных бруска, вы не сможете совместить их так, чтобы получился невозможный треугольник. Однако при проецировании трехмерной фигуры на плоскость некоторые линии могут становиться невидимыми, перекрывать друг друга, стыковаться друг с другом и т. п. Исходя из этого, мы можем взять три различных бруска и составить треугольник (рис. 2).

Бельгийский художник Матье Хемакерз создал скульптуру, представленную на рис. 3. Фотография слева показывает фронтальный вид фигуры, при котором она выглядит невозможным тре-

угольником, центральная фотография показывает ту же фигуру, повернутую на 45° , а фотография справа – фигуру, повернутую на 90° .

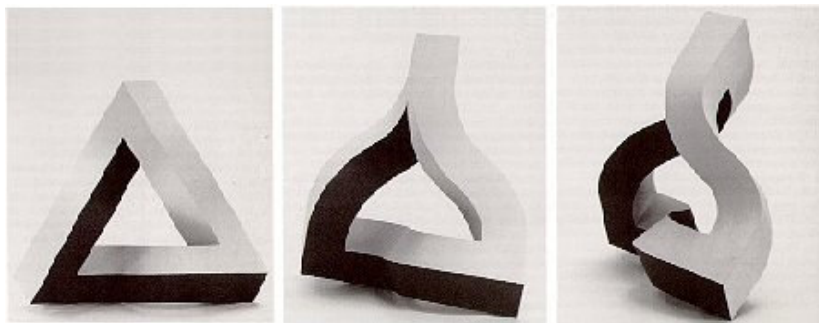


Рис. 3.

Как можно заметить, в данной фигуре вообще нет прямых линий, все элементы фигуры изогнуты определенным образом. Однако эффект невозможности замечен лишь при одном угле обзора, когда все изогнутые линии проецируются в прямые, и, если не обращать внимания на некоторые тени, фигура выглядит невозможной.



Рис. 4.

Еще один способ создания невозможного треугольника был предложен русским художником и конструктором Вячеславом Колейчуком. Все ребра данной конструкции являются прямыми линиями, а грани изогнуты, хотя на фронтальном виде фигуры этой изогнутости не видно (рис. 4).

Позже эта модель была воссоздана сотрудником факультета компьютерных наук института Technion в Израиле Элбером Гершоном. Его вариант (рис. 5) был сначала спроектирован на компьютере, а затем воссоздан в реальности при помощи трехмерного принтера. Если сместить многоугол обзора невозможного треугольника, то мы увидим фигуру,

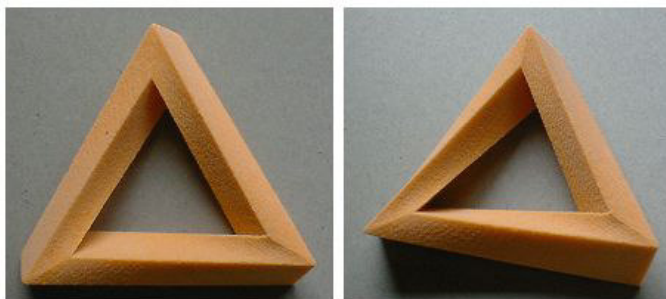


Рис. 5

Стоит отметить, что если бы мы смотрели сейчас на сами фигуры, а не на их фотографии, то мы бы сразу увидели, что ни одна из представленных фигур не является невозможной и в чем заключается секрет каждой из них. Мы бы просто не смогли бы увидеть эти фигуры невозможными, так как мы обладаем стереоскопическим зрением. Наши глаза, расположенные на определенном расстоянии друг от друга, видят один и тот же объект с двух близких, но все же разных, точек зрения, и наш мозг, получив два изображения от наших глаз совмещает их в единую картину. Таким образом, невозможный объект выглядит невозможным только с единственной точки зрения, а так как мы обозреваем объ-

ект с двух точек зрения, то мы сразу же видим те уловки, при помощи которых создан тот или иной объект.

Значит ли это, что в реальности все же увидеть невозможный объект нельзя? Нет, можно. Если вы закроете один глаз и будете смотреть на фигуру, то она будет выглядеть невозможной. Поэтому в музеях при демонстрации невозможных фигур заставляют посетителей смотреть на них сквозь небольшое отверстие в стене одним глазом.

Литература

1. Пенроуз, Л. Невозможные объекты / Л. Пенроуз, Р. Пенроуз // Квант. – 1971. – № 5. – С. 25-27.
2. Реутерсвард, О. Невозможные фигуры / О. Реутерсвард. – М.: Стройиздат, 1990. – 206 с.

УДК 515.2

Круглова А. И., Макарова Н. И.

Научный руководитель: Фоминых И. А., доцент

Поволжский государственный технологический университет

ПОСТРОЕНИЯ ТЕНИ ПРЯМОЙ ЛИНИИ ОБЩЕГО ПОЛОЖЕНИЯ

Аннотация. *Рассматривается пример построения тени прямой линии на плоскость.*

Ключевые слова: *построение тени прямой линии, наклонная плоскость, проекции.*

В курсе «Начертательная геометрия» теме построения теней в наглядных проекциях отводится 2 часа аудиторных занятий. За это время рассматриваются только самые основы: выбор направления световых лучей, построение тени точки, построение тени прямых частного положения и разбирается простейший пример. В домашнем задании требуется построить тени более сложных сооружений. Эта работа является трудоемким процессом, если строить тени по точкам. Для определения тени точки на предметной плоскости достаточно знать направление световых лучей и их проекций, но, когда тень точки падает на соседнюю часть сооружения, задача существенно усложняется. В этом случае не-

обходимо использовать свойства тени и некоторые практические навыки.

На чертеже сохраняются элементы построения: план сооружения, контуры падающей тени на предметной плоскости и т. д. В зависимости от наличия на чертеже перечисленных элементов можно построить тень от прямой общего положения наклонной плоскости с меньшими затратами времени. Эта задача часто встречается в проектировании и является ключевой в построении падающей тени с одной части сооружения на другую.

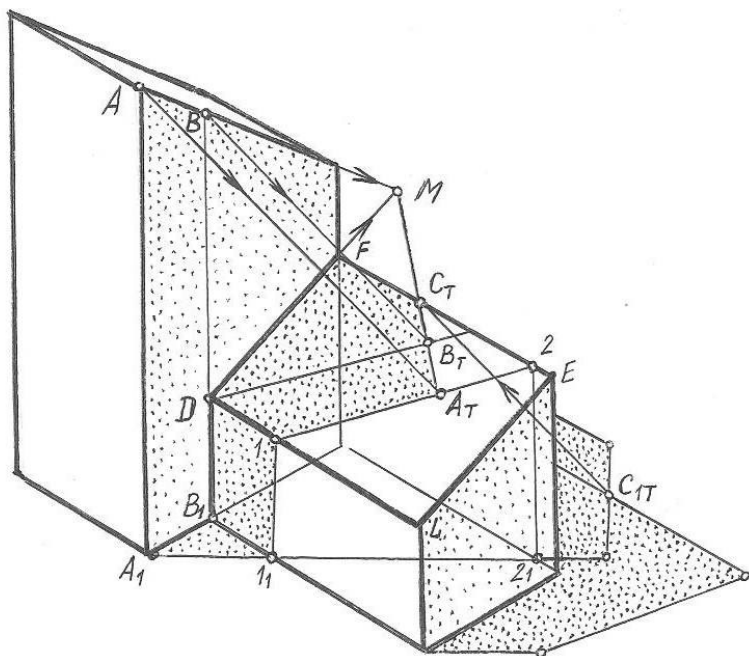
Рассмотрим пример построения тени прямой линии на плоскость. Сооружение выберем простейшее, состоящее из двух призм (рис. 1). Большая призма представляет собой прямоугольный параллелепипед с наклонным верхним основанием, маленькая призма также имеет наклонную верхнюю грань.

Солнечные лучи направлены параллельно картинной плоскости. Проекции лучей расположены под 45° к основанию картины. Вторичные проекции лучей направлены параллельно основанию картины. В соответствии с выбранным направлением световых лучей две грани сооружения находятся в собственной тени. Падающая тень этих граней на предметную плоскость строится с использованием двух свойств тени прямой линии, так как ребра призм или перпендикулярны, или параллельны предметной плоскости. Падающая тень наклонного ребра АВ строится по конечным точкам. Вертикальная передняя грань роняет тень на предметную плоскость, вертикальную и наклонную грань малой призмы. Эта тень строится по ломаной линии $A1, 1_1, 1, 2, 2_1$, пересечения лучевой плоскости от ребра AA_1 с перечисленными плоскостями, и ограничивается проекцией луча, проходящей через точку А, – получим точку At .

Построение тени прямой АВ на наклонную плоскость можно выполнить, используя следующие алгоритмы:

Первый вариант. Для определения направления падающей тени прямой на наклонную плоскость, используем произвольно выбранную точку В, лежащую на прямой АВ. Лучевая плоскость от вертикальной прямой BB_1 рассекает малую призму по четырёхугольнику см. рисунок.

Проекция луча, проходящего через точку В, пересечёт этот четырёхугольник в точке B_t . Точки At , B_t определяют падающую тень прямой АВ на наклонную плоскость. Этот алгоритм используется, если не сохранились линии плана сооружения.



Второй вариант. Должны быть построены падающие тени от сооружения на предметную плоскость, в этом случае можно использовать способ обратного луча (рисунок). На предметной плоскости находим точку C_{1T} , пересечения тени ребра AB и тени ребра FE , и обратным лучом, параллельным проекции луча, определяем точку C_T на ребре EF . Соединив т. A_T с т. C_T , получим падающую тень прямой AB на наклонную плоскость.

Третий вариант. На чертеже на продолжении прямой AB находим точку M начала тени в пересечении с ребром FD . Соединив т. M с т. A_T , построим падающую тень от ребра AB на верхнюю грань малой призмы.

Из рассмотренных вариантов самым трудоёмким является первый. Тени точек A и B находятся одинаково, способом лучевого сечения. Требуется одно умение – строить тень точки. Два других варианта решения основаны на знании свойств тени прямой линии и опыте решения подобных задач.

Построение тени в наглядных проекциях потребует меньше дополнительных построений, и следовательно, меньших временных затрат, если использовать вышеприведенные алгоритмы.

УДК 514.18

Сафрошин Р. Э.

Научный руководитель: Моисеева О. А., канд. пед. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ ГАЗОПРОВОДОВ

***Аннотация.** Рассматриваются циклические поверхности и выделяются наиболее распространенные в конструкциях газопроводов.*

***Ключевые слова:** циклическая поверхность, каналовая поверхность, трубчатая поверхность, закон движения образующей.*

Предметы в окружающем нас мире имеют разнообразные формы. Если рассматривать их с точки зрения геометрии, – это линии и поверхности. Одними из часто применяемых в различных сферах человеческой деятельности являются циклические поверхности. В повседневной жизни циклические поверхности можно рассмотреть в корпусах музыкальных духовых инструментов (саксофон, контрабас), в архитектуре зданий и сооружений (купол), в современных развлекательных аттракционах (спиральные горки аквапарков). Широко применяются циклические поверхности и в конструкциях нефтегазовой промышленности. Примерами могут служить детали газопроводов, турбин, насосов и т. п.

Циклическая поверхность – это множество последовательных положений окружности постоянного или переменного радиуса, перемещающейся в пространстве. Из определения следует, что циклическая поверхность содержит однопараметрическое множество окружностей. Закон движения образующей (окружности) определяется различными геометрическими условиями [1].

Циклическая поверхность общего вида задается тремя направляющими m , n и k . Одна из них (n) задает положение центров окружностей, другая (m) – положение плоскостей окружностей, а третья (k) – радиусы окружностей. Если одна из направляющих, задающая плоскости окруж-

ностей – прямая, то все окружности будут параллельны некоторой плоскости, а полученная при этом поверхность называется циклической поверхностью с плоскостью параллелизма. На рис. 1 приведен определитель $\Phi(k, m, n)$ такой поверхности. Образующей является окружность $n(n_1, n_2)$.

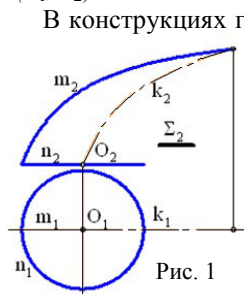


Рис. 1

В конструкциях газопроводов наибольшее распространение получили каналовые и трубчатые поверхности. Каналовой поверхностью (рис. 2) называют поверхность, образованную непрерывным каркасом замкнутых плоских сечений, определенным образом ориентированных в пространстве. Площади этих сечений монотонно изменяются в процессе их перемещения по направляющей [2]. Каналовая поверхность используется для создания переходных участков между поверхностями

типа трубопровод имеющих:

- а) различную форму, но одинаковую площадь сечения;
- б) одинаковую форму, но различные площади сечения;
- в) различную форму и различную площадь поперечного сечения.

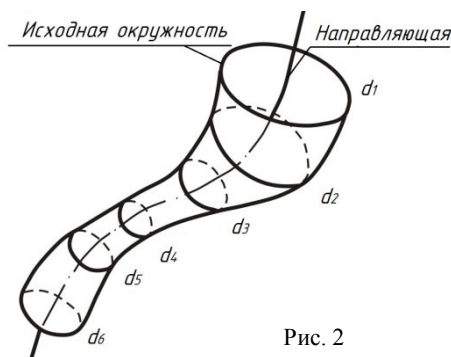


Рис. 2

Трубчатая поверхность является частным случаем циклической поверхности. Она может быть получена при движении окружности постоянного радиуса по кривой направляющей; плоскость окружности все время остается перпендикулярной к направляющей [2]. Трубчатая поверхность используется для создания переходных участков между поверхностями

типа трубопровод, имеющих одинаковую форму и одинаковые площади сечения (изменение направления).

Представленные поверхности имеют большое практическое значение. Современный уровень компьютерной техники позволяет осуществлять трехмерное моделирование и расчет циклических поверхностей.

Литература

1. Иванов, Г. С. Начертательная геометрия [Текст]: учебник. – 3-е изд. / Г. С. Иванов. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – 340 с.
2. Фролов, С. А. Начертательная геометрия. [Текст] / С. А. Фролов. – М.: Инфра, 2007. – 286 с.

УДК 515

Старыгина П. А., Майорова Е. В.

Научный руководитель: Бакулина И. Р., канд. техн. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕЗЕНТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Аннотация. *Рассматривается процесс создания и методические особенности использования демонстрационных материалов в учебном процессе и научно-исследовательской работе студентов кафедры начертательной геометрии и графики.*

Ключевые слова: *графические дисциплины, презентационные технологии, научно-исследовательская работа студента.*

Одним из видов НИРС на младших курсах всегда было написание рефератов. В настоящее время альтернативой является составление презентаций по различным разделам изучаемой дисциплины. К тому же одной из профессиональных компетенций выпускника по некоторым направлениям подготовки является умение готовить презентации, научно-технические отчеты по результатам выполненной работы, оформлять результаты исследований в виде статей и докладов на научно-технических конференциях [2].

Разработка презентаций может являться самостоятельным видом работы студента и составляться по уже пройденным разделам курса для закрепления результата или по новой теме (для самостоятельного её изучения). В процессе создания презентации студент выполняет несколько этапов:

1. согласование с преподавателем темы и подготовка текста доклада;
2. разработка структуры презентации;
3. создание презентации в Power Point;

4. согласование окончательного варианта презентации, репетиция доклада;

5. выступление перед сокурсниками.

Компьютерная презентация должна содержать начальный и конечный слайды; включать оглавление, основную и резюмирующую части. Должна прослеживаться логическая связь между предыдущим и последующим слайдами. Слайды должны содержать текст (на каждом не более 10 строк). Обязательно использовать графический материал (включая чертежи, иллюстрации) (рис. 1, 2).

В процессе выполнения проекта студент имеет возможность проконсультироваться с преподавателем по реализации каждого этапа технологической цепочки: выбор темы презентации; составление плана работы; сбор информации и материалов; анализ, классификация и обобщение собранной информации; оформление результатов; составление доклада.

ГОСТ 2.301 – 68 «Форматы»



Рисунок 1. Оформление форматов листов

- **Форматы листов** определяются размерами внешней рамки (выполненной тонкой линией) оригиналов, подлинников, дубликатов, копий.
- **Основные форматы** получаются путем последовательного деления на две равные части параллельно меньшей стороне формата площадью 1 кв. м с размерами сторон 1189 x 841 мм. Обозначения и размеры сторон основных форматов должны соответствовать указанным в таблице.

Обозначение формата	Размеры сторон формата,
A0	841x1189
A1	594x841
A2	420x594
A3	297x420
A4	210x297

ГОСТ 2.302 – 68 «Масштабы»

- **МАСШТАБОМ** называется отношение линейных размеров изображения предмета к его действительным размерам.
- Выбираются из ряда, приведенного в табл. Масштаб указывается в предназначенной для этого графе основной надписи, и обозначается по типу 1 : 1; 1 : 2; 2 : 1 и т.д.

Масштабы уменьшения	1:2, 1:2,5; 1:4, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25, 1:40, 1:50, 1:75, 1:100, 1:200, 1:400, 1:500, 1:800, 1:1000
Натуральная величина	1:1
Масштабы увеличения	2:1, 2,5:1, 4:1, 5:1, 10:1, 20:1, 40:1, 50:1, 100:1

Рис. 1. Пример слайдов электронной презентации по теме «Стандарты ЕСКД. Общие правила оформления чертежей»

ГОСТ 2.303 – 68 «Линии»

Наименование	Изображение	Толщина линии	Назначение
Средняя тонкая основная		s/0,5...1,4 мм	Линии видкового контура, линии перепада высоты
Средняя тонкая		s/3...s/2	Линии замаскированных элементов, линии скрытых осей, линии выноски и др.
Средняя волнистая		s/3...s/2	Линии обрыва, линии разграничения вида и разреза
Штриховая		s/3...s/2	Линии выноски контура, линии перепада высоты

ГОСТ 2.304 – 81 «Шрифты чертежные»

АБВГДЕЖЗИЙКЛ
МНОПРСТУФХЦ
ЧШЩЪЫЬЭЮЯ
1234567890 3 Ø
ЮУрГУ Модель
абвгдежзийклм

■ **ПРОПИСНЫЕ БУКВЫ**
 Первая группа - Г, Н, П, Т, Ц, Е, Ш, Щ образована прямолинейными элементами расположенными горизонтально или под углом 75 градусов к основанию строки.
 Вторая группа - А, И, Й, К, Ж, М, Л, Д образованы прямолинейными элементами расположенными горизонтально, под углом 75 градусов к основанию строки и наклонно или диагонально.
 Третья группа Б, В, Р, У, Ч, Ъ, Ы, Я, С образованы прямолинейными и криволинейными элементами.
 Четвертая группа - О, З, Ю, Ф в основном состоит из криволинейных элементов.

■ **ЦИФРЫ**

Рис. 2. Пример слайдов электронной презентации по теме «Стандарты ЕСКД. Общие правила оформления чертежей»

После доклада студенты-слушатели получают задание по представленной теме, которое должны выполнить индивидуально или работая в малых группах. Тем самым преподаватель имеет возможность проверить уровень усвоения студентом изложенного материала.

Такой вид деятельности позволяет студентам более глубоко изучить темы и приобрести ценные умения и навыки для индивидуальной работы и работы в коллективе:

- формировать собственную точку зрения;
- взаимодействовать в процессе учебы, обмениваться информацией;
- слушать и оценивать оппонентов;
- нести ответственность за результаты своей деятельности.

Эта работа формирует у студентов самостоятельность мышления, развивает интеллектуальные и творческие умения.

Данное средство обучения является эффективным и удобным в использовании, так как специфика читаемого курса требует обязательного наглядного пояснения, применения методов иллюстрации и демонстрации. Электронные презентации позволяют повысить графическую информативность, способствуют увеличению динамизма и выразительности излагаемого материала. Широкое использование мультимедийного оборудования на лекциях и на практических занятиях при выдаче нового материала также способствует быстрому и качественному восприятию материала студентами [1]. Лучшие работы могут быть использованы для наполнения электронных курсов.

Литература

1. Бакулина, И. Р. Разработка электронных дидактических средств обучения графическим дисциплинам [Текст] / И. Р. Бакулина, О. А. Моисеева, А. А. Охотников // Современные проблемы профессионального технического образования: сб. тр. международной науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2016. – С. 20-24.
2. Внутривузовский мониторинг формирования компетенций студентов / В. В. Кошкин и [др.] // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2015. – №2. – С. 77-80.

УДК 547.46`052

Григорьев А. А., Карпов С. В.

Научный руководитель: Каюков Я. С., канд. хим. наук, доцент
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

АТЦП В СИНТЕЗЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ ДИГИДРОФУРАНА И ПИРИДИНА

***Аннотация.** Представлены результаты исследования реакционной способности полицианосодержащих субстратов (АТЦП) по отношению к тиолам, в ходе которого были получены многофункциональные производные дигидрофурана, пиридина, а также конденсированные системы различного строения.*

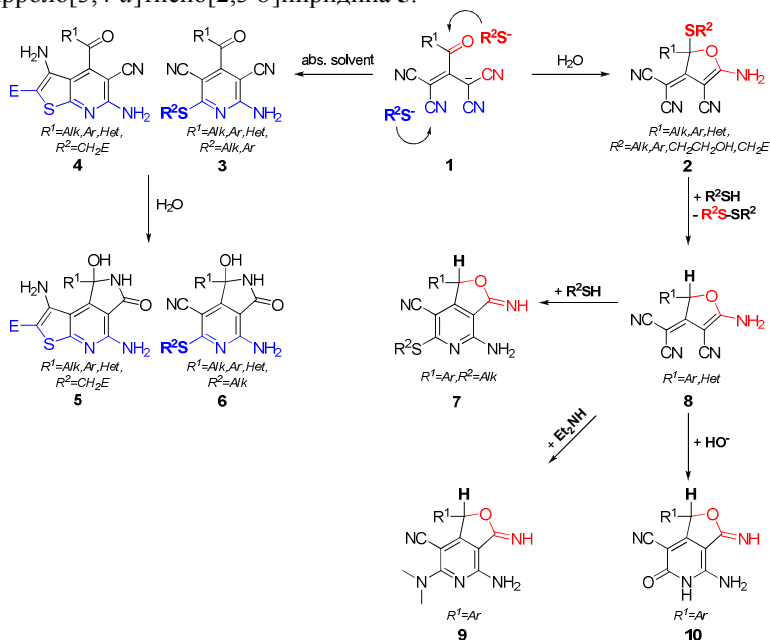
***Ключевые слова:** гетероциклизация, цианогруппа, тиолы.*

АТЦП (2-ацил-1,1,3,3-тетрацианопропениды) являются производными сильных органических С-Н кислот, содержащих в своем составе несколько реакционных центров, что позволяет вводить данные соединения в различные реакции гетероциклизации. Разработка препаративной методики получения данных субстратов позволила в достаточно полной мере изучить их реакционную способность по отношению к различным нуклеофилам. В данной работе приведены результаты превращения АТЦП под действием тиолов.

В ходе исследований было установлено, что тиолы вступают во взаимодействия с АТЦП **1** преимущественно в присутствии оснований, которые необходимы для образования достаточного количества тиолят – аниона в реакционной массе. В зависимости от условий проведения взаимодействия нуклеофильная атака может протекать как по карбонильной группе, так и по одной из цианогрупп, в результате могут быть получены производные дигидрофурана **2** и пиридина **3**. Дигидрофурановые производные **2** образуются при использовании воды в качестве растворителя, а использование абсолютных растворителей приводит к продуктам **3**. Такая разница в направлениях реакции, видимо, связана со строением исходных субстратов. Протиовион, стабилизирующий отрицательный заряд АТЦП **1**, принимает участие в координировании С=О, и при проведении реакции в сухих растворителях атака карбонильной группы становится невозможной. Использование же водной среды приводит к гидратации протиовио-

на, и направление с образованием **2** становится возможным. Участие катиона в образовании связи с кислородом карбонильной группы была доказана методом РСА.

Таким образом, основными путями гетероциклизации АТЦП **1** является образование дигидрофуранового цикла либо пиридинового. Проведение взаимодействия в более жестких условиях может приводить к более глубоким превращениям, в ходе которых были выделены производные тиено[2,3-*b*]пиридина **4**, фуоро[3,4-*c*]пиридина **7,9,10**, пирроло[3,4-*c*]пиридина **6** и неописанной ранее в литературных источниках пирроло[3,4-*d*]тиено[2,3-*b*]пиридина **5**.



Соединения **2 – 10** могут быть синтезированы согласно представленной хронологии на схеме, а также в одну синтетическую стадию, используя АТЦП **1** в качестве исходных субстратов. Структуры соединений были доказаны с помощью комплекса физико-химических методов, таких как ИК, ^1H ЯМР и ^{13}C ЯМР спектроскопия, масс-спектрометрия. Строение **4,6,7,8** было подтверждено с помощью метода РСА.

Исследование выполнено в рамках стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-3725.2015.4.

Игнатъева А. П.

Научный руководитель: Ершов О. В., канд. хим. наук, доцент
 Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

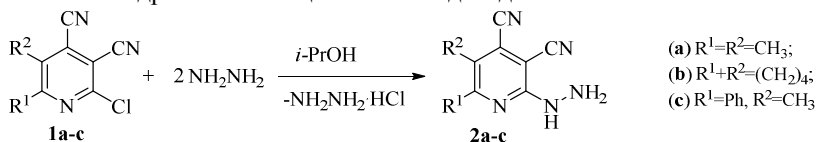
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА 2-ГИДРАЗИНОПИРИДИН-3,4-ДИКАРБОНИТРИЛОВ

Аннотация. Разработан метод синтеза 2-гидразинопиридин-3,4-дикарбонитрилов на основе 2-хлорпиридин-3,4-дикарбонитрилов.

Ключевые слова: гидразинопиридин, хлорпиридин, гидразин-гидрат.

2-Гидразинопиридин и его производные представляют традиционный интерес в органическом синтезе и находят применение в различных областях. Имеются сведения о получении на их основе координационных полимеров и металлокомплексов, обладающих полезными свойствами. Среди производных 2-гидразинопиридина обнаружены вещества, которые проявляют противоопухолевую, противовирусную, противовоспалительную, антибактериальную и другие виды активности. Еще одним популярным направлением использования 2-гидразинопиридина и его производных является получение на их основе гидразонов различных карбонильных соединений, которые также находят широкое практическое применение.

Нами был разработан способ получения 2-гидразинопиридин-3,4-дикарбонитрилов **2a-c** с хорошими выходами при мягких условиях реакции. В дальнейшем планируется получение и изучение хемосенсорных свойств гидразонов салицилового альдегида.



Структура соединений **2a-c** предложена на основании данных ИК, ^1H ЯМР спектроскопии и масс-спектрометрии.

Исследование выполнено в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России № 4.6283.2017/БЧ.

Иевлев М. Ю.

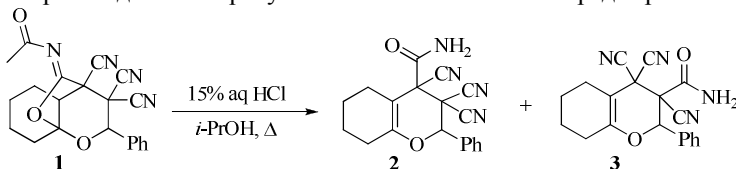
Научный руководитель: Насакин О. Е., д-р хим. наук, профессор
 Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

ГИДРОЛИЗ *N*-АЦЕТИЛПРОИЗВОДНЫХ 6-ИМИНО-2,7-ДИОКСАБИЦИКЛО[3.2.1]ОКТАН-4,4,5-ТРИКАРБОНИТРИЛОВ

Аннотация. Проведено исследование реакции гидролиза *N*-ацетилпроизводных 6-имино-2,7-диоксабицикло[3.2.1]октан-4,4,5-трикарбонитрилов в кислой среде.

Ключевые слова: нитрилы, иминолактон, гидролиз, бицикло[3.2.1]октаны.

Соединения гетеробицикло[3.2.1]октанового ряда представляют интерес с точки зрения исследования их биологической активности. Ранее нами сообщалось о разработанном способе региоселективного введения ацильного фрагмента для защиты иминогруппы в 6-имино-2,7-диоксабицикло[3.2.1]октан-4,4,5-трикарбонитрилах [1]. В продолжение данных исследований нами было осуществлено нагревание *N*-ацетилпроизводных **1** в присутствии соляной кислоты в среде пропан-2-ола.



В результате осуществления данного взаимодействия нам удалось выделить смесь соединений **2** и **3**, по-видимому, представляющих собой производные пиранового ряда с различным расположением карбоксимидной группы. Полученный результат свидетельствует о том, что дециклизация иминолактонного цикла в кислой среде может происходить по двум различным направлениям.

Литература

1. Ацилирование 6-имино-2,7-диоксабицикло[3.2.1]октан-4,4,5-трикарбонитрилов / М. Ю. Иевлев, О. В. Ершов, С. И. Павлова и др. // Журнал органической химии. – 2016. – Т. 52. – Вып. 10. – С. 1528–1530.

Работа выполнена в рамках стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-127.2016.4.

Куликова Д. Н., Смирнова Л. Г.
Марийский государственный университет

АНАЛИЗ ЛЕКАРСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА ИБУПРОФЕНА

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию лекарственного препарата ибупрофена. Рассмотрен процесс технологического производства лекарственного препарата на фармацевтическом предприятии ОАО «Марбиофарм». Изучены химические свойства и процесс растворения (RS)-2-(4-изобутилфенил)-пропионовой кислоты.

Ключевые слова. ибупрофен, (RS)-2-(4-изобутилфенил)-пропионовая кислота, спектрофотометрия, оптическая плотность.

Ибупрофен, таблетки покрытые оболочкой, – это нестероидный противовоспалительный препарат.

(RS)-2-(4-изобутилфенил)-пропионовая кислота представляет собой белый кристаллический порошок или бесцветные кристаллы, практически не растворимый в воде, но легко растворим в органических растворителях, таких как метанол, ацетон, хлористый метилен и неорганических – в разбавленных растворах гидроокисей щелочных металлов и карбонатов [1].

Актуальность данной темы заключается в необходимости контроля качества и снижения материальных затрат производства лекарственного средства. Субстанция ибупрофена поступает на ОАО «Марбиофарм» в виде белого кристаллического порошка. Структурная формула препарата представлена на рис. 1

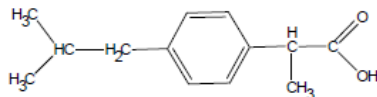


Рис. 1. Структурная формула (RS)-2-(4-изобутилфенил)-пропионовой кислоты

Одной из характеристик степени чистоты препарата является процесс его растворения. Целью работы явилось изучение растворимости препарата в воде и водных растворах с разными значениями pH, который создается фосфатным буфером. Субстанция ибупрофена поступала в заводскую лабораторию, где анализировались физико-химические параметры вещества. Определялась растворимость, температура плавления, прозрач-

ность и цветность растворов, удельное вращение, посторонние примеси субстанции (RS)-2-(4-изобутилфенил)-пропионовой кислоты.

Затем препарат подвергался следующим стадиям переработки. Субстанция ибупрофена, а также магнезия карбонат основной, титана диоксид, крахмал картофельный просеивались через сито. В сушилку загружались просеянная субстанция ибупрофена и крахмал картофельный, а в емкость для увлажнителя сушилки заливался крахмальный клейстер для процесса грануляции массы. Полученная смесь прессовалась на таблеточном прессе с давлением, необходимым для данного лекарственного средства. Каждая партия доставлялась в лабораторию для количественного определения (RS)-2-(4-изобутилфенил)-пропионовой кислоты в ней. После проведения анализов таблетки-ядра переносились в дражировочные котлы с сиропом и периодически высушивались. Операция проводилась до получения гладкой, ровной поверхности розового цвета без бугристости и трещин, средней массой 0,45 г. Таблетки, покрытые оболочкой, выдерживались не менее 8 часов, затем они переносились во вращающиеся дражировочные котлы с воском для глянцеваания. Полученный препарат в виде таблеток с устойчивым глянцем поступил в лабораторию для производства анализов.

Тест растворение проводили в фосфатно-буферном растворе с разными значениями pH (6,51; 7,20; 8,51) и в дистиллированной воде с pH 6,33. Растворы готовили по методикам Государственной Фармакопеи. Фосфатно-буферный раствор готовили путем смешивания 0,2 М раствора калия дигидрофосфата с 0,2 М раствора натрия гидроксида и воды дистиллированной.

Анализ растворения проводили на приборе ДТ60 фирмы Erweka. Условие проведения теста «растворения»: аппарат Erweka «Вращающаяся корзинка», температура – 37°C, скорость вращения корзинок – 100 об/мин, объем среды растворения 800 мл. Отбор проб был произведен через 45 минут после начала эксперимента. Полученные растворы охлаждали при комнатной температуре в течение 20 минут, затем фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента».

Количественный анализ проводили методом УФ-спектрофотометрии. Оптическую плотность проб измеряли на спектрофотометре UV-1800 фирмы «Shimadzu», оснащенной программой для обработки данных, при длине волны 264 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм. Параллельно измеряли оптическую плотность раствора стандарта ибупрофена. В качестве раствора сравнения брали тот же раствор, который использовался в качестве среды растворения. Статистическую обработку проводили с помо-

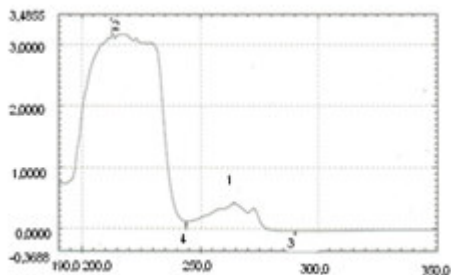


Рис. 2. График зависимости оптической плотности раствора ибупрофена

щью программы UVProbe. График зависимости полученной оптической плотности от длины волны представлен на рис. 2 при pH 7,20.

Значения оптической плотности в точке 1 (рис. 2) $\lambda=264$ нм используется для расчета количественного определения ибупрофена в препарате, масса которого 450 мг и расчетное количество ибу-

профена в котором должно быть 200 мг:

$$X = \frac{D_1 \times a_0 \times 800 \times 25 \times 100 \times P}{D_0 \times a_1 \times 100 \times 100 \times 100} = \frac{D_1 \times a_0 \times 2 \times P}{D_0 \times a_1},$$

где D_1 – оптическая плотность испытуемого раствора; D_0 – оптическая плотность раствора СО ибупрофена; a_0 – навеска СО ибупрофена, в мг; a_1 – содержание ибупрофена в одной таблетке в мг, (200мг); P – содержание ибупрофена в СО в процентах, 100% – пересчет в проценты; 800, 100, 100, 25 – разведение в мл.

Приведенная формула дает возможность % вычисления препарата в расчете, что 200 мг его в таблетке общей массы 450 мг принимается за 100%.

Аналогичным образом были получены спектры растворов лекарственного средства при pH 6,51; 7,20; 8,51 и в воде дистиллированной с pH 6,33. Данные оптической плотности представлены в таблице для точки 1 ($\lambda=264$):

pH	D	%
6,51	0,455	104,9
7,20	0,464	107,1
8,51	0,474	109,3
6,33 (вода дист.)	0,216	49,8

Таким образом, был изучен процесс растворения при разных значениях pH в фосфатно-буферных растворах и в воде дистиллированной.

Литература

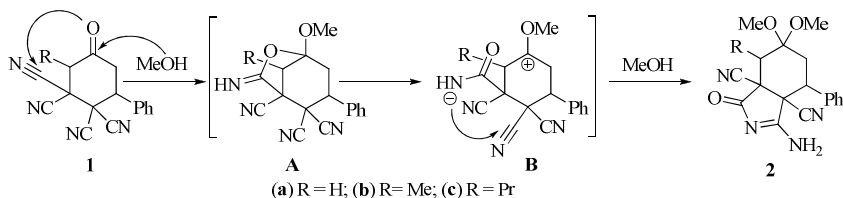
1. Brown RD et al. Single dose pharmacokinetics of ibuprofen and acetaminophen in febrile children. J Clin Pharmacol 1992; 32: 231-4.

Миловидова А. Г.

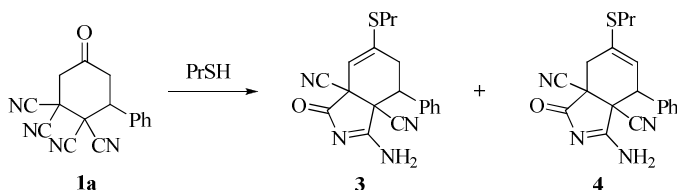
Научный руководитель: Иевлев М. Ю., ассистент
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова**РЕАКЦИИ 4-ОКСОЦИКЛОГЕКСАН-1,1,2,2-
ТЕТРАКАРБОНИТРИЛОВ С НУКЛЕОФИЛАМИ*****Аннотация.** Проведено исследование превращений 4-оксоциклогексан-1,1,2,2-тетракарбонитрилов под действием нуклеофилов.****Ключевые слова:** нитрилы, нуклеофилы, иминолактон, перециклизация.*

Оксонитрилы представляют собой удобные реагенты для направленного синтеза разнообразных гетероциклических структур. Сочетание в одной молекуле нескольких электрофильных центров: атомов углерода карбонильной и карбонитрильной групп – обуславливает высокую реакционную способность таких соединений в реакциях с нуклеофильными агентами.

Интересными представителями оксонитрилов являются 4-оксоциклогексан-1,1,2,2-тетракарбонитрилы **1**, которые могут быть получены на основе взаимодействия тетрацианоэтилена с α,β -непредельными кетонами [1]. В литературе описаны превращения соединений **1** в присутствии аминов, аммиака или воды [1-3]. Продолжив работу в данном направлении, мы обнаружили, что под действием другого представителя О-нуклеофилов – метанола при нагревании в безводной среде соединения **1** превращаются в производные 3-амино-6,6-диметокси-1-оксо-3а,4,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндол-3а,7а-дикарбонитрила **2**. По-видимому, в ходе реакции происходит промежуточное образование оксабицикло[3.2.1]октана **A**, содержащего иминолактонный фрагмент, который подвергается перециклизации с образованием конденсированной системы соединений **2**.



Схожие превращения были отмечены также для реакции соединения **1a** с пропан-1-тиолом. В результате осуществленного взаимодействия была выделена смесь региоизомеров **3** и **4** в соотношении приблизительно 5:2 (установлено на основе соотношения интегральных интенсивностей однотипных сигналов в ^1H ЯМР-спектре), содержащих пропилсульфанильный фрагмент в шестом положении конденсированной системы.



По-видимому, из-за большего атомного радиуса серы образование тиокетального фрагмента, по аналогии с соединениями **2**, в данном случае не происходит, а результатом взаимодействия становится ненасыщенная система.

Таким образом, в результате проведенного исследования нами были изучены и охарактеризованы превращения 4-оксочиклогексан-1,1,2,2-тетракарбонитрилов, происходящие под действием О- и S-нуклеофилов.

Литература

1. Reaction of α,β -unsaturated ketones with tetracyanoethylene / V. P. Sheverdov, O. V. Ershov, O. E. Nasakin, A. N. Chernushkin, V. A. Tafeenko, S. I. Firgang // Tetrahedron. – 2001. – Vol. 57. – No. 27. – P. 5815–5824.
2. Reaction of 4-Oxocyclohexane-1,1,2,2-tetracarbonitriles and 5-Hydroxy-7-oxo-6-azabicyclo[3.2.1]octane-1,2,2-tricarbonitriles with Amines / V. P. Sheverdov, O. V. Ershov, R. N. Efimov, O. E. Nasakin, S. I. Firgang, V. A. Tafeenko // Russian Journal of General Chemistry. – 2004. – Vol. 74. – No. 5. – P. 744–751.
3. Synthesis of 1-Amino-3-oxo-2-azabicyclo[3.2.1]octane-4,5,5-tricarbonitriles / O. V. Ershov, V. P. Sheverdov, O. E. Nasakin, V. A. Tafeenko // Russian Journal of Organic Chemistry – 2001. – Vol. 37. – No. 11. – P. 1662–1663.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-33-00851 мол_а.

Найденова А. И.

Научный руководитель: Максимова В. Н., канд. хим. наук, доцент
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

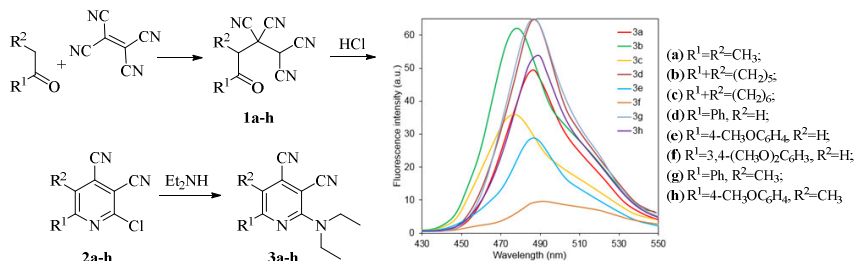
ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ 2-ДИЭТИЛАМИНОПРОИЗВОДНЫХ ДИНИТРИЛА ЦИНХОМЕРОНОВОЙ КИСЛОТЫ

Аннотация. Разработан способ получения 2-диэтиламинопроизводных динитрила цинхомероновой кислоты. Исследованы флуоресцентные свойства.

Ключевые слова: динитрил цинхомероновой кислоты, флуоресценция.

Люминесцентные красители широко используются в различных областях промышленности и науки. Разнообразие практического использования флуорофоров вызывает интерес для направленного синтеза структур с заданными свойствами. Ранее было показано, что введение цианогруппы в структуру пиридина приводит к улучшению ее оптических свойств. В качестве донорного фрагмента часто используют аминогруппу. Сочетание в одной молекуле цианогруппы и аминогруппы является перспективным подходом для построения донорно-акцепторных структур с заданными оптическими свойствами.

Целью данного проекта является разработка препаративных методов синтеза 2-диэтиламинопроизводных динитрила цинхомероновой кислоты и изучение их флуоресцентных свойств. В результате научной работы был разработан способ их получения и исследованы флуоресцентные свойства.



Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-33-21087-мол_а_вед).

Никифорова А. Л., Григорьев А. А., Карпов С. В.
 Научный руководитель: Каюков Я. С., канд. хим. наук, доцент
 Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

РЕАКЦИИ АННЕЛИРОВАНИЯ 4-АЦИЛПИРИДИН-3,5-ДИКАРБОНИТРИЛОВ

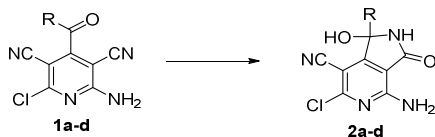
Аннотация. На основе 2-амино-3-ацил-6-хлорпиридины-3,5-дикарбонитрилов получены соответствующие 4-амино-6-хлор-1-гидрокси-3-оксо-1-ацил-2,3-дигидро-1Н-пирроло[3,4-с]пиридин-7-карбонитрилы.

Ключевые слова: тетрацианопрпениды, пиридины, пирроло[3,4-с]пиридины, аннелирование, иминолактон-лактаминная перегруппировка.

В данной работе нами представлен синтез новых полифункциональных производных пирроло[3,4-с]пиридина **2**.

Синтез соединений **2** был осуществлен двумя способами. В качестве исходных субстратов использовали 6-галогенпиридины **1**. Первый метод основан на взаимодействии соединений **1** с водой при катализе основанием. Недостатком данного метода является протекание побочной реакции замещения галогена на гидроксил, что приводит к необходимости трудоемкой очистки целевых продуктов и снижению их выходов.

Оптимальным оказался второй способ основан на поэтапной обработке пиридинов **1** концентрированной H_2SO_4 , а затем водой. Реакция в этих условиях протекает быстро, с экзотермическим эффектом и 50-58% выходами.



R: Ph (**a**), 4-MeC₆H₄ (**b**), 4-MeOC₆H₄ (**c**), 4-BrC₆H₄ (**d**)

Структура полученных соединений была установлена с помощью комплекса физико-химических методов анализа. По данным ТСХ и ЯМР, реакция протекает региоселективно с образованием только одного из возможных изомеров. Для однозначного определения расположения пиррольного фрагмента по отношению к пиридину были проведены дополнительные исследования соединения **2a** с помощью РСА.

Парфенов А. А.
Научный руководитель: Выштакалюк А. Б., д-р биол. наук
ФГБУН Институт органической и физической химии
им. А. Е. Арбузова КазНЦ РАН
Казанский национальный исследовательский
технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕПАТОПРОТЕКТОРНОЙ АКТИВНОСТИ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРИМИДИНА – ЙОДМЕТИЛАТА КСИМЕДОНА И СОКРИСТАЛЛОВ КСИМЕДОНА С АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТОЙ И МЕТИОНИНОМ

Аннотация. Представлены результаты исследования гепатопротекторной активности новых производных пириимидина – 1D (йодметилата Ксимедона – 1-(2-гидроксиэтил)-1,2-дигидро-3,4,6-триметил-2-оксопириимидиниййодида), 29D (сокристалла ксимедона и аскорбиновой кислоты) и 37D (сокристалла ксимедона и метионина) на фоне токсического поражения печени CCl_4 . Показаны биохимические и гистологические данные.

Ключевые слова: производные пириимидина, токсический гепатит, гепатопротекция.

Общеизвестно, что печень является одним из органов, который одним из первых в большей степени принимает на себя удар при воздействии на организм различных токсикантов, при этом зачастую происходит повреждение печеночной ткани [1, 2]. В настоящее время существует большое количество препаратов, направленных на репарацию тканей печени, но российских аналогов до сих пор не было синтезировано [3]. В ИОФХ им. А. Е. Арбузова было получено соединение 1-(2-гидроксиэтил)-4,6-диметил-1,2-дигидропириимидин-2-он (Ксимедон), обладающее способностью усиливать регенерацию клеток, в т. ч. была показана гепатопротекторная активность [4, 5]. В дальнейшем на основе Ксимедона были получены новые соединения, одно из которых сокристалл Ксимедона с аскорбиновой кислотой (29D), как было показано, обладает более выраженной гепатопротекторной активностью по сравнению с Ксимедоном [6]. Целью исследования было изучение гепатопротекторной активности новых производных пириимидина. Исследованные соединения производные пириимидина были синтезированы в ИОФХ им. А. Е. Арбузова КазНЦ РАН.

Методы. Эксперимент проводился на 53-х белых крысах массой 300-400 граммов, согласно двум составленным схемам по методам, описанным в [7].

Первая схема:

1) внутрибрюшинное введение препаратов в течение 14-ти дней (1D в дозе 6 мг/кг и 37D в дозе 20 мг/кг);

2) на 12-14 день введения препаратов – индуцирование токсического гепатита тетрахлорметаном;

3) на 15 день (на следующий день после последнего введения тетрахлорметана и препаратов);

4) забор материала для исследований.

Отличие второй схемы от первой состояло в вводимых препаратах (29D в дозе 11 мг/кг и 37D в дозе 11 мг/кг), также в однократном введении CCl_4 и в заборе крови на 1, 14, 16 дни.

Обработка ткани печени крыс для гистологических исследований осуществлялась по стандартным методикам с использованием специализированного оборудования. Сыворотка крови также готовилась по стандартной методике, анализ проводился на биохимическом анализаторе.

Результаты. По биохимическим и структурно-морфологическим данным, при внутрибрюшинном введении препарата 1D на фоне индукции токсического гепатита четыреххлористым углеродом, согласно первой схеме, препараты не оказали положительного влияния на печень – площадь повреждений равна площади повреждений контрольной группы. Биохимические показатели (АЛТ, АСТ, билирубин и др.) также остаются в пределах контрольной группы (с токсическим гепатитом).

Препарат 37D, при использовании первой и второй схемы, оказывает токсическое воздействие на печень, проявляющееся в увеличении некротических повреждений и отклонении некоторых биохимических показателей от контроля в худшую сторону (АЛТ, АСТ и др.).

По биохимическим и структурно-морфологическим данным, при внутрибрюшинном введении препарата 29D на фоне индукции токсического гепатита, согласно второй схеме, отмечено положительное влияние данного препарата на печень. Уменьшается площадь повреждений (в 4 раза меньше повреждений на срезах, чем у контрольной группы), происходит нормализация биохимических показателей (АЛТ, АСТ, билирубина и др.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научно-го фонда грант № 14-50-00014.

Выражаю благодарность д. х. н., доц. В. Э. Семенову и к. х. н. И. В. Галяметдиновой за предоставленные для исследования соединения.

Литература

1. Куценко, С. А. Основы токсикологии / С. А. Куценко. – СПб.: Фолиант, – 2004. – 720 с.
2. Белоусов, Ю. Б. Клиническая фармакология: национальное руководство / Ю. Б. Белоусов. – М.: ГЭОТОР-Медиа, 2009. – 976 с.
3. Крамарев, С. А. Современные гепатопротекторы в гепатологии / С. А. Крамарев // Здоров'я України. – 2011. – №1. – С. 5-9.
4. Измайлов, С. Г. Ксимедон: настоящее и будущее / С. Г. Измайлов, В. В. Паршиков // Нижегородский медицинский журнал. – 2002. – №3. – С. 81-87.
5. Выштакалюк, А. Б. Влияние лекарственного препарата «Ксимедон» на восстановление печени крыс при токсическом повреждении четыреххлористым углеродом / А. Б. Выштакалюк, Н. Г. Назаров, А. Г. Порфирьев // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 462. – № 1. – С. 103-106.
6. Оценка гепатопротективного действия L-аскорбат 1-(2-гидроксиэтил)-4,6-диметил-1,2-дигидропиримидин-2-она при воздействии четыреххлористого углерода / А. Б. Выштакалюк, Н. Г. Назаров, В. В. Зобов и др. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2016. – Т. 162. – № 9. – С. 322-325.
7. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / А. Н. Миронов, Н. Д. Бунатян и др. – М.: Гриф и К, 2012. – 944 с.

УДК 547.46`052

Тикинева М. Н.

Научный руководитель: Каюков Я. С., канд. хим. наук, доцент
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

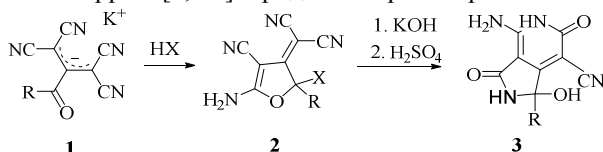
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА 2-(2-ГАЛОГЕН-5-АМИНО-2-АРИЛ-4-ЦИАНО-2,3-ДИГИДРОФУРАН-3-ИЛИДЕН)ПРОПАНДИНИТРИЛОВ

Аннотация. Получены 2-(2-галоген-5-амино-2-арил-4-циано-2,3-дигидрофуран-3-илиден)пропандинитрилы **2**, из которых в последующем синтезированы 4-амино-1-арил-1-гидрокси-3,6-диоксо-2,3,5,6-тетрагидро-1H-пирроло[3,4-с]пиридин-7-карбонитрилы **3**.

Ключевые слова: пирроло[3,4-с]пиридин, пропандинитрил.

Как известно, пиридиновое ядро входит в состав важнейших таких биологически активных природных соединений как: кофермент NAD, витамины ниоцин и пиридоксин. Соединения ряда фуро[3,4-*c*]пиридин-4-оновок и 2-арилтиено[2,3-*b*]пиридинов обладают выраженным антибактериальным действием в отношении *E.coli* и *S.Aureus*.

Нами были получены 2-(2-галоген-5-амино-2-арил-4-циано-2,3-дигидрофуран-3-илиден)пропандинитрилы **2**, из которых в последующем синтезированы 4-амино-1-арил-1-гидрокси-3,6-диоксо-2,3,5,6-тетрагидро-1Н-пирроло[3,4-*c*]пиридин-7-карбонитрилы **3**.



R = C₆H₅, 4-CH₃C₆H₄, 4-CH₃OC₆H₄, 3,4-(CH₃O)₂C₆H₃, 4-BrC₆H₄, 4-NO₂C₆H₄, C₄H₄O, C₄H₄S
X = Br, Cl, F

Полученные соединения **3** представляют собой белые кристаллические вещества, хорошо растворимые во многих органических растворителях. Структуры полученных соединений **3** были предложены на основании данных ИК, ЯМР ¹H спектроскопии и масс-спектрометрии.

УДК 547.824

Федосеев С. В.

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

ПРОТИВОТУБЕРКУЛЕЗНАЯ АКТИВНОСТЬ 3-ГИДРОКСИ-6-МЕТИЛ-7-ПРОПИЛ-4-ХЛОРФУРО[3,4-*c*]ПИРИДИН-1(3Н)-ОНА

Аннотация. Изучена противотуберкулезная активность одного представителя – 3-гидрокси-6-метил-7-пропил-4-хлорфуоро[3,4-*c*]пиридин-1(3Н)-она **1**.

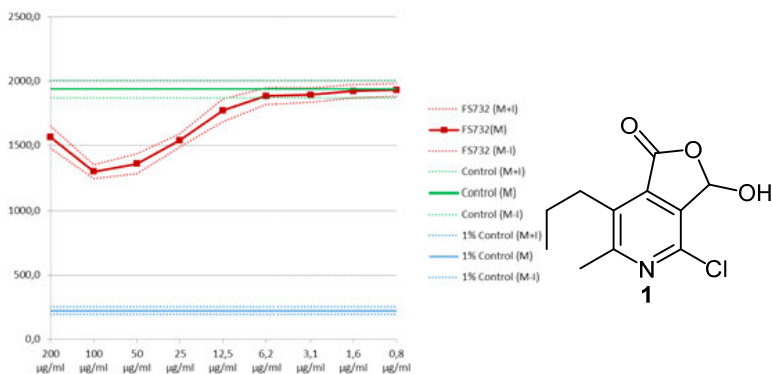
Ключевые слова: противотуберкулезная активность, производные изоникотиновой кислоты.

Известно, что производные изоникотиновой кислоты обладают противотуберкулезной активностью. Ранее нами были синтезированы 3-гидрокси-6,7-диалкил-4-хлорфуоро[3,4-*c*]пиридин-1(3Н)-оны [1], являющиеся производными изоникотиновой кислоты. Для выявления пер-

спектив применения полученных соединений в данном направлении была изучена противотуберкулезная активность одного представителя – 3-гидрокси-6-метил-7-пропил-4-хлорфуро[3,4-с]пиридин-1(3H)-она **1**.

Испытания проводились на штамме *Mycobacterium tuberculosis* H37Rv (ТБС #1/47, источник – Институт гигиены и эпидемиологии, Прага. 1976 г.), получен 07.08.2013 г. из ФГБУ «Научный центр экспертизы средств медицинского применения» Минздрава РФ.

Минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) исследуемых соединений определяли с помощью метода REMA (resazurin microplate assay, Palomino J.-C. et al., 2002) в модификации СПб НИИФ.



По результатам исследований, минимальная ингибирующая концентрация для 3-гидрокси-6-метил-7-пропил-4-хлорфуро[3,4-с]пиридин-1(3H)-она составляет 100 мкг/мл, что указывает на его противотуберкулезную активность.

Исследование выполнено в рамках стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-2802.2015.4.

Литература

1. Fedoseev S.V., Ershov O.V., Lipin K.V., Belikov M.Yu. RSC Adv. 2016. 6. 10597–10600.

Чунихин С. С.

Научный руководитель: Ершов О. В., канд. хим. наук, доцент
 Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова

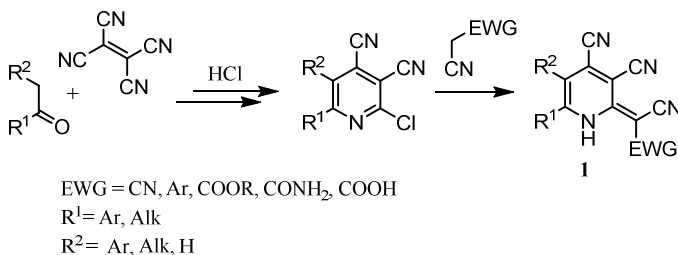
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПИРИДИНОВ, СОДЕРЖАЩИХ ТРИЦИАНОБУТАДИЕНОВЫЙ ФРАГМЕНТ

Аннотация. Представлен синтез и изучены свойства пиридинов, содержащих трицианобутадиеновый фрагмент.

Ключевые слова: пиридин, хромофоры, полицианиды.

Хромофоры донорно-акцепторного типа представляют собой дипольные молекулы, содержащие сопряженную систему кратных связей с концевыми электродонорными и электроакцепторными фрагментами. В настоящее время подобные структуры представляют собой объект изучения многих исследователей, поскольку они находят широкое применение в наиболее важных на данный момент областях науки и техники.

Нами предлагается подход к синтезу пиридинов, содержащих трицианобутадиеновый фрагмент (ТСРу **1**). Особенности данной структуры является широкая возможность варьирования функционального окружения, что, несомненно, повышает синтетический потенциал данного проекта.



В рамках данного проекта получены ТСРу **1** с сопряженной донорно-акцепторной системой. Исследованы оптические свойства.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-13-01237).

Шишликова М. А.

Научный руководитель: Ершов О. В., канд. хим. наук, доцент
 Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЦИАНОЗАМЕЩЕННЫХ 2-ТИОПИРИДОНОВ

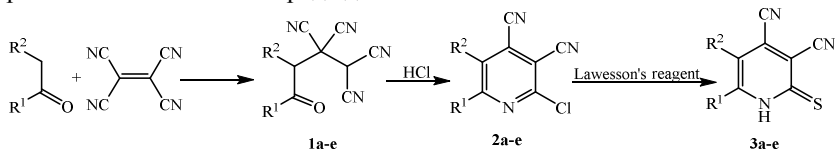
Аннотация. Разработан способ получения новых производных 2-тиопиридин-2,4-дикарбонитрилов.

Ключевые слова: тиопиридон, реактив Лавессона.

3-Цианозамещенные 2-тиопиридоны используются в синтезе тиено[2,3-*b*]пиридинов, которые обладают широким фармакологическим действием, в том числе противоопухолевым, противовирусным, противовоспалительным, антимикробным, противодиабетическим, антигипертензивным и остеогенной деятельностью, в дополнение к лечению заболевания ЦНС. Кроме того, их производные показали сильнодействующие фармакологические свойства – противогрибковые, антибактериальные, антимикробные, противотуберкулезные и инсектицидные.

Известны различные способы получения цианозамещенных 2-тиопиридонов. Большинство из них основаны на взаимодействии 2-цианозатягивающего амида и его производных с различными карбонильными соединениями. Также известен метод синтеза из хлорпиридинов и пиридонов с тиомочевинной.

Нами был разработан новый способ получения цианозамещенных 2-тиопиридонов. Метод основан на взаимодействии хлорпиридинов с реактивом Лавессона в среде диоксана.



(a) $\text{R}^1=\text{R}^2=\text{CH}_3$; (b) $\text{R}^1+\text{R}^2=(\text{CH}_2)_4$; (c) $\text{R}^1=\text{Ph}$, $\text{R}^2=\text{H}$; (d) $\text{R}^1=\text{Ph}$, $\text{R}^2=\text{CH}_3$; (e) $\text{R}^1=4\text{-CH}_3\text{OC}_6\text{H}_4$, $\text{R}^2=\text{CH}_3$

Исследование выполнено в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России № 4.6283.2017/БЧ.

УДК 524.33

Аверков В. Н., Серикова Н. Ю., Силкина О. В.

Поволжский государственный технологический университет

ВЕЩЕСТВО, ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЕ ДНК, ПОВЕРНУЛО СТАРЕНИЕ ВСПЯТЬ

Аннотация. В процессе развития организма молодые клетки способны сами восстанавливать повреждения ДНК, но по мере старения эта функция практически утрачивается. Основной компонент, осуществляющий «ремонт» ДНК, называется PARP1. Когда в клетках содержится достаточное количество НАД⁺, PARP1 поддерживает ДНК в нормальном состоянии. Но когда снижается уровень НАД⁺, повреждения начинают накапливаться. Впервые создан препарат на основе NMN (моонуклеотида никотинамида), действующий как прекурсор, то есть участвует в реакции, приводящей к образованию этого важного вещества.

Ключевые слова: ДНК, никотинамидадениндинуклеотид (НАД), моонуклеотида никотинамида (NMN), PARP1 – особый белок генома, антивозрастной препарат, «эликсир молодости».

С давних времён люди ищут эликсир молодости – универсальное средство, которое поможет повернуть вспять процессы старения. В определённой степени замедлить их помогают некоторые продукты, физическая активность и даже чтение книг.

Более серьёзные подходы к продлению жизни основываются на использовании ультразвука, клеточного перепрограммирования, омоложения крови и других технологиях.

Большинство учёных сегодня полагает, что основной причиной старения являются клеточные повреждения разного рода, которые накапливает в течение жизни организм. Кроме того, важную роль играет и окислительный стресс. В связи с этим сегодня ведётся поиск генов, защищающих организм от старения.

Однако настоящей панацеей мог бы стать некий механизм, который на клеточном уровне предотвращал бы старение ДНК и тем самым защищал «основу жизни» от повреждений. Недавно учёным наконец удалось его определить (ранее о похожем исследовании также сообщали учёные МГУ).

Международная команда специалистов из Гарвардской медицинской школы в США и Университета Нового Южного Уэльса в Австралии, работающая под руководством профессора Дэвида Синклера (David Sinclair), раскрыла один из ключевых механизмов, который постепенно ослабляет способность организма восстанавливать поломанную ДНК. Понимание этого механизма дало возможность обратить вспять возникновение повреждений в молекуле ДНК.

Новое исследование основывается на предыдущей работе американско-австралийской команды. Несколько лет назад учёные установили, что никотинамидадениндинуклеотид, или НАД, (кофермент, имеющийся во всех живых клетках) играет более важную роль в клеточных процессах, и особенно окислительно-восстановительных реакциях, чем считалось ранее. Более того оказалось, что клетки молодых мышей содержат гораздо более высокие уровни НАД⁺ (окисленная форма), чем клетки их сородичей в возрасте.

Тогда команда создала препарат на основе NMN (моноклеотида никотинамида). Для НАД⁺ он действует как прекурсор, то есть участвует в реакции, приводящей к образованию этого важного вещества. Введение этого соединения в организмы мышей, больных сахарным диабетом, показало невероятные результаты: метаболизм сахара в крови животных восстановился до практически нормального уровня.

В ходе новой работы Синклер вместе с коллегами предположил, что то же самое соединение может быть использовано и для борьбы со старением на клеточном уровне.

Как пояснили авторы работы, молодые клетки способны сами восстанавливать повреждения ДНК, но по мере старения эта функция практически утрачивается. Основной компонент, осуществляющий «ремонт» ДНК, называется PARP1. Когда в клетках содержится достаточное количество НАД⁺, PARP1 поддерживает ДНК в «здоровом» состоянии. Но когда снижается уровень НАД⁺, повреждения начинают накапливаться (так как PARP1 «выходит из строя» и становится не способен участвовать в ремонте повреждённых ДНК). Со временем это приводит к повреждениям клеток, различным мутациям и отказу некоторых органов.

Полученные результаты раскрывают ключевой механизм дегенерации и старения клеток. Помимо этого, они указывают и на терапевтический путь, позволяющий остановить и обратить вспять связанное с возрастом и воздействием радиации повреждение ДНК.

Учёные разработали антивозрастной препарат, который содержит моноклеотид никотинамида – тот самый прекурсор НАД⁺. Его давали пожилым мышам вместе с питьевой водой, и уже через несколько дней

эксперты заметили удивительный эффект. Препарат буквально повернул время вспять: ДНК грызунов вновь начала восстанавливаться, как в молодых организмах, а имеющиеся повреждения стали «залечиваться».

В исследованиях Синклера выяснилось, что клетки старых мышей были неотличимы от клеток молодых мышей после одной недели лечения. Количество молекулярных маркеров, которые указывают на повреждения ДНК, у грызунов также уменьшилось.

На заключительном этапе исследователи подвергли мышей воздействию излучения, повреждающего ДНК. Клетки животных, предварительно принявших чудо-препарат, показали более низкие уровни повреждения генетического материала. Более того, защитный эффект наблюдался даже у животных, получивших NMN уже после облучения.

Эти результаты открывают огромные перспективы для использования препарата, уверены авторы. По словам Синклера, впереди испытания на людях. Предполагается, что первые тесты начнутся в течение ближайших шести месяцев. От появления безопасного и эффективного «эликсира молодости» на рынке (при условии, что тесты на человеке пройдут удачно) нас отделяет 3-5 лет, добавляют авторы.

Добавим, что, по некоторым данным, разработкой уже заинтересовались специалисты NASA. Поскольку препарат показал высокие уровни защиты от радиации, его предположительно можно будет использовать в ходе будущих лунных и марсианских миссий с участием людей.

Напомним, что будущим колонизаторам Красной планеты учёные предрекают смерть 5% всех клеток организма, а также почти стопроцентные шансы на возникновение рака. Даже в коротких полётах космонавты испытывают ускоренное старение из-за космического излучения, страдают от мышечной слабости, некоторой потери памяти и других неприятных симптомов.

Впрочем, все жители планеты в какой-то степени подвержены воздействию радиации (и даже тёмной материи), особенно когда летают на самолётах или проходят рентгеновское сканирование. Теоретически новый препарат сможет ослабить негативное воздействие этих и других рискованных мероприятий.

Кроме того, новое средство поможет людям, пережившим онкологическое заболевание и курс химиотерапии в юном возрасте. По статистике, 96% людей, в детстве или в молодости переживших рак, к 45 годам имеют массу хронических заболеваний, в том числе болезнь Альцгеймера, сахарный диабет второго типа, сердечно-сосудистые болезни, а также риск возникновения новых онкологических заболеваний.

Андреева А. А., Суркова В. А., Спиридонов И. С.
Научные руководители: Ушмарин Н. Ф., канд. техн. наук;
Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ

Аннотация. *Исследована возможность повышения физико-механических свойств и понижения степени набухания в агрессивных средах резины на основе бутадиен-нитрильных каучуков путем введения в её состав синтетических волокон и промоторов адгезии.*

Ключевые слова: *резина, волокна, промоторы адгезии, физико-механические свойства, степень набухания.*

Для герметизации обсадных колонн нефтегазодобывающей промышленности в составе пакерно-якорного оборудования используются резиновые уплотнительные элементы. К этим уплотнительным элементам предъявляются жесткие требования по твердости, накоплению остаточной деформации сжатия и стойкости к действию высокосернистой нефти и многофазного флюида нефть-газ-вода при высоких температурах [1,2]. С целью получения резин, удовлетворяющих этим требованиям, нами исследовано влияние волокон и промоторов их адгезии к каучуковой матрице для резины на основе каучуков БНКС-28АМН и СКН10-1А.

Резиновая смесь изготавливалась в две стадии на лабораторных вальцах ЛБ 320 150/150. На первой стадии каучуки перемешивались с активатором, противостарителем, техническим углеродом и промоторами адгезии (модификатор РУ и уротропин). На второй стадии в резиновую смесь вводились измельченные до 5-10 мм волокна (полиакрилонитриловое волокно, фибротекс, рубротекс), пероксид и соагенты вулканизации. В табл. 1 приведены варианты резиновой смеси, содержащие различные волокна, модификатор РУ и уротропин. В дальнейшем проводилась вулканизация резиновой смеси при температуре 150°C в течение 40 минут. Для полученных вулканизатов были определены физико-механические свойства и степень их набухания после суточной выдержки в агрессивных средах, которые приведены в табл. 2.

Таблица 1. Варианты резиновой смеси

Ингредиенты	Варианты (мас. ч.)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Полиакрилонитриловое волокно	–	–	5,0	5,0	–	–	–	–
Фибротекс	–	–	–	–	5,0	5,0	–	–
Рубротекс	–	–	–	–	–	–	5,0	5,0
Модификатор РУ	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0
Уротропин	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0

Таблица 2. Свойства вулканизатов

Показатели	Варианты резиновой смеси							
	1	2	3	4	5	6	7	8
f_p , МПа	10,9	11,3	11,0	11,4	10,9	11,7	12,4	12,6
ε_p , %	100	100	80	80	70	70	100	95
H , ед. Шор А	79	78	83	83	83	85	85	82
Степень набухания резины после выдержки в агрессивных средах, %								
СЖР-1 (150°С×24 час)	+21,2	+21,2	+16,9	+16,9	+18,7	+16,1	+16,1	+15,7
СЖР-3 (150°С×24 час)	+37,5	+37,5	+35,6	+35,6	+37,7	+33,4	+33,4	+32,7
И+Т (70:30) (23°С× 24 час)	+25,4	+22,1	+10,3	+9,3	+11,3	+6,5	+8,3	+5,4

Примечание: f_p – предел прочности при растяжении; ε_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость.

Из табл. 2 следует, что введение волокон приводит к возрастанию предела прочности при растяжении, твердости и уменьшению относительного удлинения при разрыве вулканизатов. Наибольшими физико-механическими свойствами обладает резина, содержащая рубротекс. Увеличение содержания промоторов адгезии незначительно повышает предел прочности при растяжении, практически не оказывая влияния на остальные физико-механические свойства резины. При этом наблюдается ухудшение технологичности резиновой смеси – введение более 2,0 мас. ч. комбинации модификатора РУ с уротропином приводит к прилипанию резиновой смеси к валам вальцев. Вулканизаты, содержащие волокна, характеризуются меньшей степенью набухания после суточной тепловой выдержки в СЖР-1, СЖР-3, а также в смеси изооктан-толуол при комнатной температуре по сравнению с вулканизатами, не содержащими волокна. Наименьшим набуханием обладает вулканизат, содержащий

рубротекс. Таким образом, резина на основе комбинации БНКС-28АМН и СКН10-1А, содержащая рубротекс и промоторы адгезии, обладает повышенными физико-механическими свойствами.

Литература

1. Сандалов, С. И. Разработка термоагрессивостойкой резины на основе бутадиен-нитрильных каучуков / С. И. Сандалов, О. Н. Феофанова, М. С. Резников и др. // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2014. – Т. 17. – №3. – С. 108-110.
2. Сандалов, С. И. Разработка термоагрессивостойкой резины для паке-рующих элементов / С. И. Сандалов, М. С. Резников, Н. Ф. Ушмарин и др. // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2014. – Т.17. – №9. – С. 129-132.

Исследование выполнено в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства на АО «ЧПО им. В. И. Чапаева» при финансовой поддержке Минобрнауки России, договор №03.G25.31.0227.

УДК 68.39.15

Белова Т. В.

Научный руководитель: Насакин О. Е., д-р хим. наук, профессор;

Васильева С. Ю., старший преподаватель

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИНУЛИНА ИЗ ТОПИНАМБУРА

Аннотация. *Разработан новый метод выделения инулина из топинамбура, благодаря применению тепловой обработки совместно с ультразвуковым излучением.*

Ключевые слова: *инулин, топинамбур, сахарный диабет.*

При сахарном диабете развивается хроническое повышение в крови уровня сахара, определяющее такое состояние, как гипергликемия, что происходит по причине недостаточности секреции инсулина или же по причине снижения чувствительности к нему клеток организма. В среднем данное заболевание актуально для 3% населения, при этом известно, что сахарный диабет у детей встречается несколько реже, определяя средние показатели в пределах 0,3%. Между тем отмечается и такая

тенденция, при которой ежегодно численность пациентов с сахарным диабетом постоянно возрастает, причем ежегодный рост соответствует показателям ориентировочно 6-10%. Можно утверждать, что примерно каждые 15 лет удваивается число заболевших сахарным диабетом пациентов. В рамках рассмотрения мировых показателей по численности заболевших по 2000 году была определена цифра, превышающая 120 миллионов, сейчас же общий показатель численности больных сахарным диабетом составляет порядка свыше 200 миллионов человек.

В профилактике и комплексном лечении больных сахарным диабетом важное значение имеет фитотерапия, которая обладает преимуществом перед лечением синтетическими лекарственными препаратами, так как может длительно применяться, не оказывая существенных побочных действий. Топинамбур – один из немногих природных источников инулина, который имеет высочайшую продуктивность и нечувствительность к качеству почв произрастания и особенно полезен больным сахарным диабетом. Это определяет перспективность использования топинамбура в качестве сырья для производства физиологически ценной продукции – инулина. Степень полимеризации растительного инулина варьирует от 2 до 100, при этом длина цепи и дисперсность зависят от вида растения, его вегетационного периода и климатических условий. Так, в инулине, выделенном из цикория, степень полимеризации изменяется в пределах от 2 до 60, причем большая часть молекул углевода имеет степень полимеризации 20. Особое значение имеет особо чистый – медицинский инулин. Он способствует усвоению витаминов и минералов в организме, улучшает обмен липидов – холестерина, триглицеридов и фосфолипидов в крови. Среднесуточное потребление инулина и пектина в развитых странах 8-14 граммов (норма – не менее 6 г). Именно недостатком инулина и его производных в потребительской корзине граждан России можно частично объяснить 10 миллионов больных сахарным диабетом в нашей стране. При этом на рынке производителей этого соединения закрепились только крупные производители инулина, производящие 90% всей продукции, из них 70% рынка занимает бельгийская компания «Beneo-Orafti», голландские компании «Cosucra» и «Sensus». Пищевая ценность клубней топинамбура обусловлена высоким содержанием функциональных макро- и микронутриентов, таких как инулин, пектиновые вещества, пищевые волокна, минеральные элементы. Инулин используется во всем мире как неременный компонент заменителя пшеничной муки для диабетиков.

Мы модифицировали методику получения инулина. На первом этапе стандартно из сырья 1000 г сырых измельченных клубней топинамбура

(с влажностью 75,%) выжимали 500 мл сока на бытовой соковыжималке (рН 6,38). Далее экстрагировали инулин двумя путями: первый – тепловой обработкой, второй – то же в проточном ультразвуковом кавитационном реакторе с кольцевыми акустическими трансформаторами.

Остальные процедуры ранее отработаны нами. В связи с тем, что инулин растворяется только в горячей воде, к полученному соку прибавляли 600 мл нагретой до кипения воды (1:1), подогревали до 75-80°C, затем добавляли 65 г карбоната кальция и нагревали при постоянном перемешивании 80 мин при 80-85°C на масляной бане. Горячую смесь фильтровали через слой бязи. Фильтр промывали 200 мл горячей воды (80°C). Полученный фильтрат упаривали на водяной бане при 70°C или под вакуумом до объема 270 мл (рН 7). Упаренный раствор кристаллизовали в холодильнике при 3-4°C на 6 суток. В результате выпадал осадок серого цвета неочищенного инулина. Влажные выжимки, оставшиеся после отделения сока (около 550 г), экстрагировали дважды водой порциями по 1,6 л при 80°C в течение 60 мин и отжимали через бязь в горячем виде. Получали 3,2 л водного извлечения из выжимок (рН 6,6). К горячему упаренному раствору добавляли 55 г карбоната кальция и нагревали при 80-85°C, постоянно перемешивая, 1 час с последующей фильтрацией через слой бязи, фильтр промывали горячей водой 85°C. Затем опять фильтрат упаривали при 80°C под вакуумом до объема 300 мл (рН 6,5 – 7,5). Упаренный и охлажденный до комнатной температуры фильтрат разбавляли 96%-ным спиртом 1: 1 (инулин не растворяется в спирте) и кристаллизовали в холодильнике при 4°C 5 суток, получая осадок сырого инулина светло-серого цвета.

Осадки сырого инулина отделяли фильтрованием и объединяли, затем растворяли в минимальном объеме горячей воды при 80°C. Раствор фильтровали через хлопчатобумажную ткань, осадок на фильтре промывали 35 мл горячей воды (80°C), охлаждали до 40°C и пропускали со скоростью 1 капля в секунду через колонку с анионитом в ОН⁻-форме. Колонку брали диаметром 3 см, высотой 20 см. Массу сухого анионита в количестве 50 г, замачивали в 1 н. растворе гидроксида натрия, затем промывали дистиллированной водой, после загружали в колонку в виде суспензии в воде и отмывали до нейтральной реакции по фенолфталеину. Колонку промывали водой при 45°C, собирали 350 мл элюата (рН 10,2). К элюату прибавляли 125 г оксида алюминия, нагревали на электроплитке с асбестовой сеткой при 75°C при постоянном перемешивании 30 мин. Фильтровали горячую смесь через слой бязи. Фильтр промывали 100 мл горячей воды при 75°C. Собирали 350 мл фильтрата 18 г чистого порошка

инулина с влажностью 10% и удельным вращением $D = -36,5$. Выход воздушно-сухого инулина составлял 92% из расчета на сухое сырье.

УДК 547.26/118

Будаева О. В., Якимова А. А.

Научные руководители: Зиновьева Е. Г., канд. хим. наук, доцент;

Ефимов В. А., канд. хим. наук, доцент

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА ОРГАНОФОСФАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ КОБАЛЬТА

Аннотация. *Определены порядок, константы скорости и энергии активации реакций триалкилфосфатов с хлоридом кобальта.*

Ключевые слова: *кинетика, порядок реакции, константа скорости реакции, энергия активации, триалкилфосфаты, хлорид кобальта.*

Одной из примечательных черт современной химии является постоянно возрастающий научный и технический интерес к металлическим комплексам органических соединений, которые широко используются в катализе, биологии, технологии красителей и пигментов. Реакции комплексообразования также применяются в аналитической химии для определения многих химических элементов весовым, калориметрическим и другими методами; для разделения ряда металлов и получения их в состоянии высокой степени чистоты.

В частности, особый интерес представляют соли и комплексные соединения с металлом кобальтом. На его основе получены превосходные катализаторы для органической химии, обезсеривания нефти, окисления аммиака, сушки лаков и масляных красок. Из соединений кобальта изготавливают эмали и краски необычайной красоты. Например, комплексные соединения кобальта и меди с моноэтаноламином обладают ярко выраженным термохромным эффектом, обусловленным структурными изменениями внутри комплекса.

В продолжение исследований [1-5] в данной работе изучены реакции триалкилфосфатов (ТАФ) с хлоридом кобальта (II) и их кинетические параметры (порядок и константа скорости реакции, энергия активации), необходимые для понимания механизма протекания подобного рода синтезов. Аддукты ТАФ с хлоридом кобальта (II) представляют собой

низковязкие жидкости синего цвета, хорошо растворимые в спиртах и ацетоне. Их синтезы проводили при 80 и 100 °С до полного растворения хлорида кобальта (II). Содержание ионов Co^{2+} определяли фотометрическим роданидным методом с использованием градуировочного графика. Каждый синтез проводился в количестве не менее трех параллельных опытов. Среднеквадратичная ошибка при расчете констант скоростей химических реакций не превышала 5%. Отбор проб проводили каждые 15-30 мин., далее готовили из них водно-ацетоновый раствор в присутствии роданида калия и соляной кислоты и фотометрировали на приборе ФЭК-56ПМ. Установлено, что рассматриваемые реакции ТАФ с CoCl_2 относятся к реакциям второго порядка ($n=2$), константы скоростей варьируются в пределах $k = 0,49\text{--}0,88 \text{ л} \cdot (\text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1})$, а энергия активации $E_a = 3,69 - 14,80 \text{ кДж/моль}$. Выявлено влияние длины и природы углеводородного радикала в молекулах ТАФ на скорость комплексообразования с дихлоридом кобальта. Полученные данные позволяют оптимально прогнозировать и регулировать условия синтеза для получения комплексных соединений ТАФ с количественным выходом.

Литература

1. Образование тетраakis[три(2-хлорэтил)-фосфат]диаквакобальта(II)-тетрахлорокобальтата(II) / Е. Г. Зиновьева, Д. А. Безгин, В. А. Ефимов и др. // Журнал общей химии. – 2016. – Т.86, Вып. 7. – С. 1226-1228.
2. Formation of tetrakis[tri(2-chloroethyl)-phosphate]diaquacobalt (II) tetrachlorocobaltate (II) / E. G. Zinov'eva, D. A. Bezgin, V. A. Efimov, D. B. Krivolapov, R. Z. Musin, M. N. Dimukhametov // Russ. J. Gen. Chem. 2016. Vol. 86. № 7. P. 1772-1773. DOI: 10.1134/S1070363216070409.
3. Зиновьева, Е. Г. Исследование кинетики отверждения эпоксидной смолы ЭД-20 триалкил(арил)фос-фатными комплексами кислот Льюиса и триэтилен-тетрамином / Е. Г. Зиновьева, В. А. Ефимов, Н. И. Кольцов // Пластические массы. – 2011. – № 6. – С. 22-24.
4. Зиновьева, Е. Г. Исследование свойств полимеров эпоксидиановой смолы ЭД-20, отвержденной триалкил(арил)фосфатными комплексами кислот Льюиса и триэтилентетрамином / Е. Г. Зиновьева, В. А. Ефимов, Н. И. Кольцов // Пластические массы. – 2011. – № 7. – С. 3-5.
5. Зиновьева, Е. Г. Кислоты Льюиса – новые комплексы солей металлов I-VIII групп с триалкил(арил)фосфатными лигандами / Е. Г. Зиновьева // Сб. материалов XIII Рос. ежег. конф. молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов» (с между. участием). – М.: ИМЕТ РАН, 2016. – С. 268-269.

Васильева А. С., Пелипенко Д. В., Егоров Е. Н.
Научные руководители: Ушмарин Н. Ф., канд. техн. наук;
Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

ВЛИЯНИЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ НА СВОЙСТВА НЕФТЕНАБУХАЮЩЕЙ РЕЗИНЫ

Аннотация. *Исследовано влияние бутадиен-нитрильных каучуков на упруго-деформационные и эксплуатационные свойства нефтенабухающей резины. Показано, что с увеличением количества бутадиен-нитрильных каучуков с большим содержанием нитрила акриловой кислоты в их комбинации с изопреновым каучуком повышаются упруго-деформационные, эксплуатационные свойства и уменьшается степень набухания резины. После 10 суток выдержки в нефти при 100°C изменения упруго-деформационных свойств и степени набухания вулканизатов для всех исследованных вариантов резиновой смеси возрастают незначительно.*

Ключевые слова: *резина, каучуки, набухание, нефть, упруго-деформационные и эксплуатационные свойства.*

В настоящее время в нефтегазодобывающей промышленности актуальной проблемой является создание резиновых уплотнительных элементов, способных надежно герметизировать скважины при добыче нефти. Принцип работы уплотнительных элементов основан на абсорбции ими нефти за счет составляющей основу уплотнительных элементов нефтенабухающей резины. Использование таких уплотнительных элементов перспективно, поскольку упрощает монтаж и эксплуатацию нефтедобывающих скважин, экономит значительные средства в течение длительного срока их эксплуатации. В присутствии нефти уплотнительные элементы поглощают молекулы составляющих нефть углеводородов. При этом происходит увеличение объема уплотнительных элементов, закупоривается затрубное пространство, что обеспечивает локальную герметизацию зонального пространства между скважиной и грунтом. Абсорбционная способность резины зависит от природы входящих в её состав ингредиентов, среди которых определяющая роль принадлежит используемым каучукам. В связи с этим в данной работе изучено влияние природы бутадиен-нитрильных каучуков в их комбинации с изопреновым каучуком на упруго-деформационные и эксплуатационные свойства резины.

Резиновая смесь включала изопреновый (СКИ-3) и бутадиен-нитрильные (БНКС-18АМН, БНКС-28АМН, БНКС-40АМН) каучуки, серу, сульфенамид Ц, цинковые белила, технический углерод марки Т 900 и другие ингредиенты. Первый вариант резиновой смеси содержал 50 мас. ч. каучука СКИ-3 и 50 мас. ч. каучука БНКС-18АМН, второй вариант – 20 мас. ч. каучука СКИ-3 и 80 мас. ч. каучука БНКС-18АМН, третий вариант – 50 мас. ч. каучука СКИ-3 и 50 мас. ч. каучука БНКС-28АМН, четвертый вариант – 20 мас. ч. каучука СКИ-3 и 80 мас. ч. каучука БНКС-28АМН, пятый вариант – 50 мас. ч. каучука СКИ-3 и 50 мас. ч. каучука БНКС-40АМН, шестой вариант – 20 мас. ч. каучука СКИ-3 и 80 мас. ч. каучука БНКС-40АМН. Резиновую смесь готовили путем смешения каучуков с ингредиентами на лабораторных вальцах ЛБ 320 150/150 в течение 30 минут. Охлаждение резиновой смеси производили на металлическом столе. Готовую резиновую смесь выдерживали не менее 24 часов. Затем проводилась вулканизация резиновой смеси при температуре 150°С в течение 30 минут в двухэтажном гидравлическом электрообогреваемом вулканизационном прессе ВП-400-2Э. Для полученных в форме стандартных образцов вулканизатов определялись упруго-деформационные свойства, результаты исследований которых приведены в таблице.

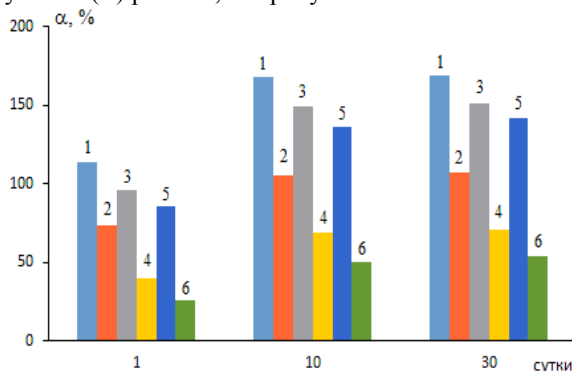
Упруго-эластические и эксплуатационные свойства вулканизатов

Показатели	Варианты резиновой смеси					
	1	2	3	4	5	6
f_p , МПа	6,9	7,7	7,9	8,2	8,4	8,9
ϵ_p , %	500	600	560	600	580	620
H , ед. Шор А	52	55	54	58	57	65
Изменение свойств резины после выдержки в нефти при 100°С в течение 30 суток						
$\Delta f_p/f_p$, %	-89,1	-70,2	-87,9	-47,7	-77,1	-41,9
$\Delta \epsilon_p/\epsilon_p$, %	-54,5	-41,0	-49,3	-24,5	-26,9	-18,4
ΔH , ед. Шор А	-29	-21	-25	-14	-19	-11

Примечание: f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H – твердость; $\Delta f_p/f_p$, $\Delta \epsilon_p/\epsilon_p$ – изменение показателя, равное отношению разности между его значениями после и до выдержки в нефти к исходному значению; ΔH – разность значений твердости после и до выдержки в нефти.

Как видно из таблицы, с увеличением количества бутадиен-нитрильных каучуков в их комбинации с изопреновым каучуком, а также с возрастанием содержания нитрила акриловой кислоты в бутадиен-

нитрильных каучуках повышаются упруго-деформационные свойства резины. В дальнейшем исследовали эксплуатационные свойства резины. Для этого образцы вулканизатов выдерживали в нефти при 100°C в течение тридцати суток. Определяли упруго-деформационные свойства и их изменения, значения которых приведены в таблице. Для образцов вулканизатов после длительной экспозиции в нефти определялась также степень набухания (α) резины, см. рисунок.



Степень набухания резины после выдержки в нефти при 100°C в течение от одних до тридцати суток (номера столбиков соответствуют номерам вариантов)

Из таблицы и рисунка следует, что увеличение содержания нитрила акриловой кислоты в бутадиен-нитрильных каучуках и количества бутадиен-нитрильных каучуков в их комбинации с изопреновым каучуком приводит к уменьшению изменений упруго-деформационных свойств вулканизатов под действием нефти, т. е. повышению эксплуатационных свойств резины. При этом наблюдается уменьшение степени набухания резины в нефти.

Причем после 10 суток выдержки в нефти при 100°C степень набухания вулканизатов для всех исследованных вариантов резиновой смеси возрастает незначительно. Такая же закономерность наблюдалась для изменений упруго-деформационных свойств резины, которые оставались практически неизменными.

Исследование выполнено в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства на АО «ЧПО им. В. И. Чапаева» при финансовой поддержке Минобрнауки России, договор №03.G25.31.0227.

Волкова М. Ю., Поликарпова А. А., Ахметзянова Д. Р.,
Лобанова О. В.

Поволжский государственный технологический университет

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА, АЛЮМИНИЯ И КРЕМНИЯ В ЦЕМЕНТАХ

Аннотация. *Рассматривается влияние химического состава цемента на его качества.*

Ключевые слова: *цемент, пуццолановый портландцемент.*

Цемент – это вяжущее порошкообразное вещество, которое в смешении с небольшим количеством воды образует однородную, быстро затвердевающую массу. Поскольку он применяется во всех отраслях строительного производства, существует множество видов цемента.

Химический состав цемента может варьироваться в зависимости от химического состава сырья, из которого происходит изготовление цемента. Технология производства цемента является определяющим фактором качества цемента. При производстве цемента во время обжига в печи происходят различные химические реакции, благодаря которым и получается цемент. Различные вариации соотношений исходных материалов существенно влияют на химический состав, который определяет свойства и области применения цемента [1].

Основными составляющими цемента являются оксиды кальция, кремния, алюминия, железа и магния.

С целью сравнения суммарного содержания оксидов алюминия Al_2O_3 и железа Fe_2O_3 в различных видах цемента, а также сравнения содержания оксида кремния SiO_2 был изучен химический состав двух образцов цемента: образец №1 – пуццолановый цемент ЦЕМ II/A – П 32,5Н (ГОСТ 31108-2003) и образец №2 – портландцемент ПЦ 500-ДО (ГОСТ 10178-85) [2].

Оксид железа является очень важным компонентом цемента и оказывает большое влияние на его качество. Соединения железа способствуют снижению температуры спекания клинкера. Цементы, богатые Fe_2O_3 , относительно медленно схватываются и твердеют, а в дальней-

шем достигают высокой прочности, однако при этом снижается их жаростойкость. Содержание оксидов железа в цементе не должно превышать 10 %. Снижение содержания Fe_2O_3 изменяет цвет цемента – он становится светлее.

При повышенном содержании оксида алюминия Al_2O_3 , а следовательно и алюминатов, цементы приобретают способность к ускоренному твердению в начальные сроки, повышается их огнеупорность. При этом они имеют меньшую водо-, морозо- и сульфатостойкость.

Оксид кремния SiO_2 в восстановительной среде взаимодействует с оксидом углерода и углеродом с образованием SiO и Si . Оксид кремния может реагировать с парами воды с образованием гидратов $\text{Si}(\text{OH})_4$ или $\text{Si}(\text{OH})_6$. Выделение кремния и образование указанных гидратов приводит к внутренним напряжениям в бетоне и разрушению футеровки. Поэтому количество SiO_2 в составе высокоглиноземистых цементов ограничивается 5%, а в особочистом высокоглиноземистом цементе – 1%.

Таким образом, изменяя количественное соотношение минералов клинкера и их состав, получают цементы с различными свойствами. Для характеристики любого цемента важно знать главные показатели, которые указывают на упаковке.

При определении SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 образцы цементов были обработаны 38%-ной соляной кислотой. После отделения осадка кремниевой кислоты образовавшиеся хлориды FeCl_3 и AlCl_3 , были переведены 20%-ным раствором аммиака в гидроксиды $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $\text{Al}(\text{OH})_3$. Оксиды Fe_2O_3 и Al_2O_3 были получены последующим прокаливанием гидроксидов в муфельной печи в течение 40 минут при температуре 1000°C [1]. Результаты химического анализа представлены в таблице.

Содержание SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 в образцах цемента

№ образца	масса образца, г	Fe_2O_3 и Al_2O_3		SiO_2	
		масса, г	массовая доля, %	масса, г	массовая доля, %
Образец № 1	0,469	0,0675	14,39	0,1236	26,50
Образец № 2	0,515	0,0714	13,87	0,1041	20,22

Анализ полученных результатов показывает, что суммарное содержание оксидов Fe_2O_3 и Al_2O_3 в двух видах цемента примерно одинаково, а количество оксида SiO_2 в первом образце в 1,3 раза превышает его содержание по сравнению со вторым образцом.

Это можно объяснить тем, что образец №1 содержит минеральные добавки – пуццоланы, которые состоят преимущественно из реакционноспособных диоксида кремния SiO_2 и оксида алюминия Al_2O_3 .

Знание количества важнейших оксидов в цементном клинкере позволяет с достаточной степенью точности предсказать некоторые качества цемента – скорость нарастания его прочности, влияние условий твердения на прочность, стойкость в пресных и минерализованных водах, количество тепла, выделяемого при твердении.

Цементы с повышенным содержанием оксидов кремния и железа в составе клинкерной части характеризуются пониженной скоростью твердения в начальные сроки при достаточно интенсивном нарастании прочности в длительные сроки. Они отличаются повышенной водостойкостью и сульфатостойкостью. Именно поэтому пуццолановый портландцемент обладает невысокой скоростью твердения, повышенной коррозионной устойчивостью и пониженной морозостойкостью [3].

Литература

1. Винокурова, Р. И. Специфичность распределения макроэлементов в органах древесных растений елово-пихтовых лесов Республики Марий Эл / Р. И. Винокурова, О. В. Лобанова // Вестник ПГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – №2. – С. 76-83.
2. ГОСТ 5382-91. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. Введ. 1991-01-07. – М.: Госстрой СССР. Изд-во стандартов, 1991. – 93 с.
3. Ратинов, В. Б. Химия в строительстве / В. Б. Ратинов, Ф. М. Иванов. – М.: Стройиздат, 1969. – 200 с.

Галиева Э. А.

Научные руководители: Выштакалюк А. Б., д-р биол. наук;

Зобов В. В., д-р биол. наук, профессор

ФГБУН Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова
КазНЦ РАН

Казанский (Приволжский) Федеральный университет

ПРОТИВОАНЕМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НАТРИЙ-, КАЛЬЦИЙ-, ЖЕЛЕЗОПОЛИГАЛАКТУРОНАТА НА МОДЕЛИ ПОСТГЕМОРАГИЧЕСКОЙ АНЕМИИ КРЫС

Аннотация. *Представлены результаты исследования эффективности в качестве противоанемического средства комплексного соединения – натрий-, кальций-, железополигалактуроната.*

Ключевые слова: *анемия, пектин, комплексы.*

Причиной поражения жизненно важных органов является обеднение организма железом, так как повышается заболеваемость инфекциями, происходит нарушение функциональных систем организма, а также нарушается развитие детей и подростков, что определяет социально-экономическую значимость данной проблемы [1].

Цель работы: исследование противоанемической эффективности инновационного соединения натрий-, кальций-, железополигалактуроната в сравнении с препаратом Тотема на модели железодефицитной и постгеморрагической анемии крыс.

Материалы и методы.

Работа выполнена в лаборатории Химико-биологических исследований Института органической и физической химии им. А. Е. Арбузова КазНЦ РАН.

Было проведено 2 опыта на 57 белых беспородных крысах, возраст которых на начало эксперимента составлял 8-9 недель, масса 214-240 г. Анемию моделировали путем острой кровопотери (3-хкратно, по 1% от массы тела, общий объем около 50% от объема циркулирующей крови), на фоне кормления железодефицитным рационом. При кровопотере кровь у животных забирали из хвостовой вены. Животные были поделены на 4 группы по 10 особей:

1. препарат Тотема (доза препарата 0,132 мл/кг);

2. дистиллированная вода (2 мл/кг) – контрольная группа;
3. комплекс пектина – Na-, Ca-, Fe-полигалактуронат (доза 60 мг/кг);
4. интактные – без воздействия (стандартный корм, без кровопотери, без препаратов).

У всех животных определяли содержание эритроцитов, гемоглобина, ретикулоцитов, гематокрита, содержание гемоглобина в эритроците, средний объем эритроцита, распределение эритроцитов на автоматическом гематологическом анализаторе Mythic 18Vet. Статистическая обработка результатов выполнена методом вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента по сравнению с интактными и контрольными крысами.

Результаты и обсуждения.

У крыс, на которых была использована кровопотеря, к 23 суткам наблюдалась выраженная анемия, характеризующаяся снижением количества эритроцитов, гемоглобина и гематокрита. Через 3 дня после введения препаратов наблюдается повышение показателей крови в отличие от показателей во время «пика» анемии. При этом рост показателей в группах, которым вводили железосодержащие препараты, был более интенсивным, чем в контрольной группе, и до 27 дней применения препаратов исследованные показатели были выше в группе, в которой вводили исследуемый натрий-, кальций-, железополигалактуронат. То есть для исследованного комплекса выявлены преимущества по эффективности по сравнению с препаратом Тотема, причем в дозах, вдвое меньших по сравнению с рекомендуемыми для лечения железодефицитной анемии. Через месяц число эритроцитов, гемоглобина и гематокрита достигло исходных величин. При кормлении стандартным рационом различия между группами исчезали.

Через 1 месяц после моделирования и регулярного введения железосодержащих растворов отмечено повышение концентрации гемоглобина на 15% (Тотема), 20% (комплекс пектина FeCa) в сравнении с показателем, регистрируемым после кровопотери. Через 2 месяца от начала опыта у крыс, получавших железосодержащие растворы, концентрация гемоглобина повысилась на 38% (Тотема) и на 37% (комплекс пектина FeCa). К этому же сроку произошло восстановление числа эритроцитов и уровня гематокрита во 2 и 1 группах.

При исследовании числа лейкоцитов было показано, что в результате кровопотери наблюдали повышение числа лейкоцитов. В группе, получавшей комплекс, восстановление числа лейкоцитов до исходных значений, наблюдавшихся до кровопотери, наблюдали уже на 7-й день

исследования, что свидетельствует о положительном влиянии вещества на иммунные показатели.

Из результатов опыта следует, что пероральное введение препаратов Na-,Ca-,Fe- полигалактуроната и Тотема при экспериментальной постгеморрагической анемии приводит к нормализации количественных и качественных показателей системы крови и восполнению депо железа в организме. При этом исследуемый комплекс по влиянию на динамику восстановления показателей крови не уступает и даже проявляет некоторые преимущества по сравнению с французским лекарственным противоянемическим препаратом Тотема.

Количество ретикулоцитов резко начинает изменяться на 21 день опыта, после трех кровопотерь. Фракция незрелых ретикулоцитов была повышена до $28,10 \pm 2,38$, что в 4,6 раза превышало значение нормы. На фоне лечения Тотемой и комплексом пектина с CaFe к 29 дню лечения ретикуляционные показатели постепенно достигали исходных показателей.

Выводы.

1. При постгеморрагической анемии увеличение числа эритроцитов, гемоглобина и гематокрита под влиянием комплекса пектина Na-,Ca-,Fe-полигалактуроната в дозе 60 мг/кг (эквивалентно 50% дозе железа, рекомендованной при лечении другими железосодержащими препаратами) наблюдается, начиная с 3 суток применения.

2. Na-,Ca-,Fe-полигалактуронат в дозе 60 мг/кг проявил более высокую эффективность по сравнению с эквивалентной дозой лекарственного препарата Тотема.

Литература

1. Сёмочкин, С. В. Клиническая эффективность применения препарата Тотема в лечении железодефицитной анемии у взрослых: гематологический ответ и улучшение качества жизни // Земский врач. – 2012. – 1(11). – С. 37-42.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госконтракта № 14.N08.12.1042.

Выражаю благодарность с.н.с., к.х.н. Минзановой С. Т. за предоставленное для исследования вещество – натрий-, кальций-, железополигалактуронат.

Данилова М. В.

Научные руководители: Насакин О. Е., д-р хим. наук, профессор;

Васильева С. Ю., старший преподаватель

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

КАУЧУК – НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПОЛУЧЕНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ

***Аннотация.** Разработаны новые подходы к получению натурального каучука из одуванчиков различных сортов: кок-сагыз, одуванчик лекарственный.*

***Ключевые слова:** одуванчик, натуральный каучук, способ выделения.*

Плановой тематикой кафедры органической и фармацевтической химии является выделение каучука из местных каучуконосов – одуванчиков, и это чрезвычайно важно по программе импортозамещения. Россия – один из лидеров по выпуску синтетического каучука (СК), однако он не может заменить натуральный каучук по ряду основополагающих характеристик.

Поэтому мы в течение ряда лет занимаемся местным каучуконосом – одуванчиком. У растения очень много народных названий: одуванчик полевой, одуванчик лечебный, кульбаба, молочай, пустодуй, еврейская шапка, зубной корень, пушица, русский цикорий, масляный цветок, коровий цветок, мартовский куст, млечный цвет, светик, воздушный цветок, плешивец. Все это, конечно, является доказательством широкого распространения и огромной популярности этого растения среди людей. С точки зрения ботаники, одуванчик лекарственный – многолетнее травянистое растение до 50 см высоты, с толстым стержневым корнем (до 2 см в диаметре, длиной до 60 см). Листья собраны в прикорневую розетку, струговидно-перистые, с обращенными вниз долями, к основанию сужены в крылатый черешок. Цветки золотисто-желтые, все язычковые, сидят на плоском цветоложе. В основном, виды одуванчика мало отличаются друг от друга. Различия мелкие и сводятся к форме корня, и, особенно, строению плодиков. Плоды – веретенообразные семянки с хохолком из белых тонких волосков. Всем известны семена-парашютики этого растения: окончательно созревшие, они легко срываются с корзинки легким дуновением ветра и уносятся на значительные расстояния (до сотен метров) от материнского растения. На одном

соцветии образуется до 200 семян. Семена созревают примерно через месяц после начала цветения. Нередко наблюдается повторное цветение и плодоношение в течение всего лета. В медицине используют корни одуванчика лекарственного. Период цветения одуванчика – один из самых продолжительных: с ранней весны и до осени. Массовое цветение в мае, отдельно цветущие растения встречаются до осени. Плоды созревают в июне – августе. Нередко наблюдается повторное цветение и плодоношение в течение всего лета. Размножается одуванчик лекарственный семенами и вегетативно. Одно растение дает от 200 до 7000 семян. Корень одуванчика содержит до 10 % горького вещества тараксацина; стерины: р-ситостерин и стигмастерин; флавоноиды: космозин, лютеолин-7-глюкозид; сахароза (до 20 %), белки (15 %), каротин, дубильные вещества, следы эфирного масла, органические кислоты, жирное масло, содержащее следы органических кислот – олеиновой, пальмитиновой, линолевой, Melissa и цериновой. Корни одуванчика накапливают в себе цинк, медь и селен. Из корней одуванчика выделены тритерпеновые соединения, в-ситостерин, сигмастерин, инулин (до 24 % в случае кок-сагыза), холин, никотиновая кислота, смолы, воск, каучук (до 3 %), витамины А, В1, В 2.а. Особенно много инулина корни одуванчика содержат осенью.

Надземная часть одуванчика содержит спирты, сапонины, значительное количество протеина, витамины С, А, В2, никотиновую кислоту. В соцветиях и листьях найдены аскорбиновая кислота (до 50 мг%), витамины В1, В2, Е, каротиноиды, смолы, воск, каучук, спирты, белки. В листьях найдены железо, кальций, марганец и фосфор, содержание которого даже больше, чем в листовых овощах. Биологически активные вещества одуванчика лекарственного обладают также желчегонными, диуретическими, спазмолитическими, слабительными, отхаркивающими, успокаивающими, снотворными, мочегонными, потогонными свойствами. Кроме того, в процессе изучения активности одуванчика установлены также противовирусные, противотуберкулезные, фунгицидные, антигельминтные и антиканцерогенные свойства.

Биосинтез природного каучука управляется сложной смесью белков, расположенных на поверхности так называемых «каучуковых частиц». Эти частицы заполнены цис-полиизопреном и окружены обеспечивающим защиту покрытием. В результате совместной работы исследователей из Технического Университета Мюнстера и компании TRM Ltd. (Йорк, Великобритания), изучавших тот самый кок-сагыз (*Taraxacum kok-saghyz*), было выяснено, что ключевую роль в формировании полиизопрена играет один белок, получивший название «каучук-

трансферазаактиватор» (*rubber transferase activator*). Если ингибировать образование этого белка и не дать ему возможности накапливаться в растении, формирование каучука не происходит. В настоящий момент большая часть ботаников и биохимиков склоняются к тому, что каучук обеспечивает защиту растений от охлаждения.

Нами выкапывались корни одуванчика с целью изучения динамики накопления каучука (К) в мае-сентябре 2015, 2016 годов. У очищенных корней обрезали ножом надземные части, корневища, тонкие боковые корни. Промытые корни, разложив на ткани, подвешивали на воздухе в течение нескольких дней (до прекращения выделения млечного сока при надрезании). Затем их досушивали в сухих, хорошо проветриваемых помещениях. При хорошей погоде сырье высыхает за 10-15 дней. В вакууме при температуре 30-40°C 4 часа. При весеннем сборе одуванчика сырье после сушки получается дряблым, легковесным, с легко отделивающейся корой и пробкой, оно практически не содержит К. Выкопанные корни, промытые и просушенные, хранятся неопределенно долго – у нас уже три сезона. Таким образом, мы накопили запас корней в количестве 167 кг. Сырье постоянно исследуется в осенне-зимний период. Полученный «одуванчиковый» каучук использован нами в создании композиций для клеев, замазок совместно с другим «зеленым» мономером фурфуролом и продуктами его щелочной конденсации с ацетоном и с эпоксидными смолами.

Новое направление – создание твердых безасфальтных покрытий с использованием для нас этого «дармового» сырья. Это композиция, 80% в которой, составляет песок.

УДК 546.732

Дружинина А. В.

Научный руководитель: Щеглова Н. В., канд. хим. наук, доцент

Марийский государственный университет

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХЕЛАТИРОВАНИЯ КОБАЛЬТА(II) ОКСИЭТИЛИДЕНДИФОСФОНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Аннотация. Спектрофотометрическим методом исследовано комплексобразование кобальта(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой для установления оптимальных условий существования хелатов в растворах с эквимо-

лярным соотношением комплексообразователь:лиганд и оценки термодинамической устойчивости координационных частиц.

Ключевые слова: кобальт(II), оксиэтилидендифосфоновая кислота, хелаты.

Оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ, H_5X) образует устойчивые хелаты металлов в широком диапазоне кислотности среды, в том числе неэквивмолярного состава и полиядерные комплексы [1]. Это обуславливает широкое применение этого комплексообразующего реагента и ее хелатов в нефтедобывающей, текстильной и целлюлозно-бумажной промышленности, в водооборотных системах охлаждения тепловых электростанций, в сельском хозяйстве в качестве минеральных удобрений, бактерицидных препаратов, а также биологически активных фармакологических препаратов [2]. Существующие в литературе сведения о составе и устойчивости ОЭДФ-комплексов катионов кобальта(II) весьма разноречивы, что обусловлено значительным разнообразием состава координационных частиц, образующихся в водных растворах [3, 4].

При координации оксиэтилидендифосфоновой кислоты катионом кобальта(II) в растворах с мольным соотношением компонентов, равным 1:1, в синглетном электронном спектре поглощения регистрируется полоса, характеристический максимум которой батохромно смещается относительно раствора аквакоординированного кобальта(II) ($\lambda_{\max} = 510$ нм) по мере понижения кислотности среды до 560-580 нм (рис. 1). При этом наблюдается увеличение интенсивности розовой окраски растворов, а в сильнощелочных растворах регистрируется уширение полосы светопоглощения с переходом окраски раствора из розовой в фиолетовую. Разложение спектра сильнощелочного раствора на гауссовы составляющие позволило установить его дуплетный характер, обусловленный формированием второго максимума светопоглощения с длиной волны 680 нм. Изменение спектральной картины обеспечивается изменением состава координационной сферы кобальта(II) в растворах с эквивмолярным содержанием комплексообразующего реагента по мере варьирования pH. Детальное изучение влияния кислотно-основного состава раствора на процессы хелатирования кобальта(II) оксиэтилидендифосфоновой кислотой показало, что комплексообразование в исследуемой системе реализуются уже в сильно-кислой среде ($pH > 0,5$) с последовательным образованием двух облас-

тей, соответствующих оптимальным для существования комплексов условиям: $\Delta pH_1=2,0-3,2$ и $\Delta pH_2=6,7-10,5$ (рис. 2). Понижение кислотности среды более 10,5 единиц pH сопровождается гидролитическим разложением ОЭДФ-комплекса кобальта(II) с выделением в твердую фазу гидроксида этого металла.

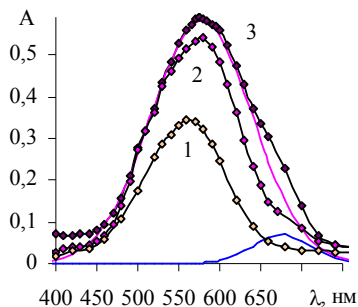


Рис. 1. Электронные спектры поглощения растворов системы $Co(II):OEDP=1:1$
 $C(Co^{2+})=0,01$ моль/л;
 $pH = 3,4$ (1), $6,2$ (2) и $11,0$ (3); $l = 3$ см

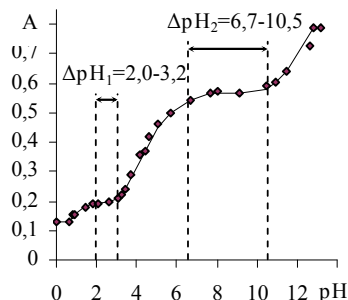
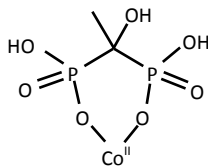


Рис. 2. Зависимости оптической плотности растворов от pH для системы $Co(II):OEDP=1:1$.
 $C(Co^{2+}) = 0,01$ моль/л;
 $\lambda = 580$ нм; $l = 3$ см

Для моделирования процессов комплексообразования использовали диаграмму распределения форм ионизации ОЭДФ, а расчет констант термодинамической устойчивости ОЭДФ-хелатов кобальта(II) осуществляли с применением метода Россотти. Установлено, что в кислых и близким к нейтральным средах происходит хелаторование катионов кобальта(II) с образованием координационных частиц состава $[CoH_3X]^0$ и $[CoH_2X]^+$, для которых $\lg \beta$ составляют 3,80 и 9,60 соответственно. Полученные численные значения логарифмов констант устойчивости ОЭДФ-комплексонатов кобальта(II) совпадают с данными, полученными ранее для растворов с избытком комплексообразующего реагента [6]. Термодинамическая выгодность хелатной формы кобальта(II) в растворе ОЭДФ достигается замыканием шестичленного цикла за счет координации депротонированных фосфоновых групп:



В сильнощелочных средах появление второй полосы поглощения обусловлено внедрением гидроксо-групп в координационную сферу ОЭДФ-комплекса кобальта(II) с образованием смешаннолигандных координационных частиц состава $[\text{Co}(\text{OH})\text{H}_2\text{X}]^{2-}$, для которых величина $\lg\beta$ составляет 9,91.

Установлено также, что выдерживание растворов в течение недели приводит к нарушению гомогенности системы и выделению в твердую фазу нейтрального ОЭДФ-хелата кобальта(II) в близких к нейтральным средах, а в растворах с высоким значением pH за счет конкурентного замещения комплексообразующего реагента в координационной сфере металла гидроксид-ионами формируется малорастворимый гидратированный оксид кобальта(II).

Литература

1. Фосфорсодержащие комплексоны [Текст] / М. И. Кабачник, Т. Я. Медведь, Н. М. Дятлова и др. // Успехи химии. – 1974. – Т. XLIII. – Вып. 9. – С. 1554-1573. – Библиогр.: с. 1573.
2. Дятлова, Н. М. Теоретические основы действия комплексонов и их применение в народном хозяйстве и медицине [Текст] // Журн. ВХО. – 1984. – Т. 29. – № 3. – С. 247-160. – Библиогр.: с. 160.
3. Фурзикова, Е. А. Особенности образования оксиэтилендифосфонатов кобальта(II) в водном растворе [Текст] / Е. А. Фурзикова, С. Ю. Егорова, Т. В. Попова // Актуальные проблемы экологии, биологии и химии: материалы конференции по итогам НИР БХФ за 2011 г. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. – 2012. – Вып. 4. – С. 250-253. – Библиогр.: с. 253.
4. Дружинина, А. В. Оксиэтилендифосфонатные комплексы кобальта(II) в водных растворах [Текст] / А. В. Дружинина, Н. В. Щеглова // Современные проблемы медицины и естественных наук: сборник статей Международной научной конференции. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т. – 2016. – Вып. 5. – С. 177-182. – Библиогр.: с. 182.

Ефимов К. В.

Научные руководители: Ушмарин Н. Ф., канд. техн. наук;

Тарасов Н. А., старший преподаватель;

Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГОРЕНИЯ СИЛИКОНОВОЙ РЕЗИНЫ

Аннотация. *Исследована кинетика горения силиконовой резины марки ИРП 1338, содержащей разные стабилизаторы. Рассчитаны константы скоростей и энергии активации процесса горения резины. Показано, что использование Ca/Zn-стабилизатора взамен антиструктурирующей добавки НД-8 позволяет повысить огнестойкость резины.*

Ключевые слова: кинетика, горение, силиконовая резина, стабилизаторы.

На сегодняшний день растет потребность в резинотехнических изделиях на основе силоксановых каучуков. Резины, изготовленные из силоксановых каучуков, способны работать при высоких – до 250°C и низких – до минус 70°C температурах. Среди них следует выделить резину ИРП 1338, которая применяется для изготовления термостойких формовых уплотнительных и электроизоляционных изделий. Резина ИРП 1338 изготавливается на основе каучука СКТВ. Для повышения термостойкости в неё вводится антиструктурирующая добавка НД-8 (α,ω -полидиметилсилоксандиол) [1]. Ранее в работах [2, 3] показана возможность повышения термостойкости карбоцепных резин путем введения в них Ca/Zn-стабилизатора и Компанокса (2,6-бис((3,5-дитрет-бутил-4-гидроксифенил)метил)циклогексан-1-он). Повышение термостойкости способствует увеличению огнестойкости резины. В связи с этим нами исследовано влияние антиструктурирующей добавки НД-8, Ca/Zn-стабилизатора и Компанокса на огнестойкость силиконовой резины ИРП 1338 путем изучения кинетических закономерностей процесса её горения.

Резиновая смесь содержала каучук СКТВ, перкадокс BC-FF, аэросил А300, белую сажу, оксид титана и другие ингредиенты. Базовым вариантом служила резиновая смесь ИРП 1338, содержащая в своем составе антиструктурирующий агент НД-8 в количестве 8 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В исследованных вариантах резиновой смеси проводилась рав-

номассовая замена антиструктурирующего агента НД-8 на Ca/Zn-стабилизатор, термостабилизатор Компанокс – 2,6-бис((3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенил)метил)циклогексан-1-он и их комбинацию (по 4 мас. ч. каждого на 100 мас.ч. каучука).

Резиновая смесь готовилась на лабораторных вальцах ЛБ 320 150/150. Вулканизация резиновой смеси проводилась при температуре 150°C в течение 60 мин в двухэтажном гидравлическом электрообогреваемом вулканизационном прессе ВП 100-400-2Э. Затем исследовалась кинетика горения резин на основе силоксанового каучука. Процесс горения резины изучался с использованием газового молекулярного лазера ЛГ-25, генерирующего постоянную температуру лучеиспускания. Кинетику горения исследовали путем измерения во времени высоты (h) несгоревшей части стандартных образцов резины в виде столбиков размером 10x2x2 мм, облучаемых лучом лазера, при трех температурах лучеиспускания ($T_{\text{л}} = 800, 900, 1000^{\circ}\text{C}$) с фиксацией с помощью мультитестора DT830D температуры горения ($T_{\text{г}}$). Скорость процесса горения описывали степенным кинетическим уравнением $v = -dh/dt = k \times h^n$ при различных значениях n. Значение констант k и n для исследуемого образца резины подбирались таким образом, чтобы среднеквадратичная ошибка S, определяющая суммарное отклонение рассчитанных значений высоты образца резины ($h_{\text{рi}}$) от экспериментальных величин ($h_{\text{эi}}$) во времени, имела наименьшее значение.

Вначале изучалась кинетика горения образцов резины, содержащих разные стабилизаторы, при температуре лучеиспускания $T_{\text{л}} = 800$. На основании проведенных исследований были определены экспериментальные значения $T_{\text{г}}$ и относительные высоты несгоревшей части образцов резины ($h_{\text{жсп}}/h_0$), содержащих различные изучаемые стабилизаторы, во времени. Для каждого варианта параллельно проводились эксперименты с тремя образцами резины, результаты которых усреднялись. Установлено, что процесс горения силиконового резины описывается кинетическим уравнением нулевого порядка. Это подтверждается значениями среднеквадратичной ошибки S, которая достигает наименьших значений при описании скорости процесса горения резины уравнением нулевого порядка. На основании полученных данных были рассчитаны константы скорости процесса горения образцов резины, содержащих разные стабилизаторы.

В дальнейшем исследовался процесс горения образцов резины, содержащих разные стабилизаторы, при температурах лучеиспускания 900 и 1000°C. При этом были получены результаты, аналогичные полученным при $T_{\text{л}} = 800$. Установлено, что эти результаты также с наи-

меньшей среднеквадратичной ошибкой описываются кинетическим уравнением нулевого порядка. По рассчитанным величинам константы скорости горения при трех режимах лучеиспускания (800, 900 и 1000°C) были определены величины кажущейся энергии активации процесса горения. Показано, что замена антиструктурирующей добавки НД-8 на Компанокс и Ca/Zn-стабилизатор приводит к возрастанию энергии активации и уменьшению константы скорости процесса горения. Причем скорость горения образцов резины снижается при переходе от базового варианта, содержащего антиструктурирующую добавку НД-8, к вариантам резины, содержащим Компанокс, комбинацию Ca/Zn-стабилизатора с Компаноксом и Ca/Zn-стабилизатор.

Литература

1. Силиконовые кабельные резиновые смеси, выпускаемые ОАО «Казанский завод синтетического каучука» / Г. А. Михайлова, В. А. Бабурина, В. Я. Калмыкова и др. // Каучук и резина. – 2008. – №1. – С. 5-7.
2. Фомин, Д. Л. Влияние распределения химикатов-добавок в полимерной матрице на свойства негорючих кабельных пластикаторов / Д. Л. Фомин // Международная молодежная научная школа «Кирпичниковские чтения»: сборник материалов. – Казань. – 2012. – С. 183-184.
3. Сайгитбаталова, С. Ш. Стабилизация бутилкаучука 2,6-бис((3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенил)метил)циклогексан-1-оном / С. Ш. Сайгитбаталова, Е. Н. Черезова, А. Г. Лиакумович // Каучук и резина. – 2014. – № 6. – С. 12-15.

УДК 543:535.243

Калинина Е. Г.

Научный руководитель: Щеглова Н. В., канд. хим. наук, доцент;

Смирнова Л. Г., канд. хим. наук, доцент

Марийский государственный университет

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ДОБАВКАХ

***Аннотация.** Предложен спектрофотометрический метод анализа содержания флавоноидов в биологических активных добавках.*

Ключевые слова: *рутин, флавоноиды, спектрофотометрия, оптическая плотность.*

В современном мире из-за высокой подверженности людей к стрессу повышается потребность в препаратах, обладающих седативным эффектом. Наиболее эффективны для этих целей препараты растительного происхождения, которые в сравнении с синтетическими, обладают большей доступностью, минимумом противопоказаний и побочных эффектов. Одним из важных преимуществ лекарственных растительных средств является широкий спектр действия. Например, экстракты валерианы, пустырника, мяты, Melissa и хмеля обладают не только успокаивающим эффектом, но и содержат в своем составе продукты вторичного метаболизма растений – флавоноиды, являющиеся биологическими модификаторами благодаря способности изменять реакцию живого организма на аллергены, вирусы и канцерогены [1].

Фармакологические компании активно разрабатывают технологии производства препаратов путем выделения флавоноидов из растительных экстрактов. Количественное определение суммарного содержания флавоноидов осуществляли различными аналитическими методами, среди которых самым распространенным является спектрофотометрический.

Целью настоящей работы является модернизация методики спектрофотометрического определения суммы флавоноидов в разрабатываемом препарате, относящимся к биологически активным добавкам с условным названием «Таблетки успокаивающего действия, содержащие в своем составе экстракты пустырника, валерианы, мяты, Melissa и хмеля».

Для проведения спектрофотометрических исследований содержания флавоноидов в растительных экстрактах в качестве стандартного образца был выбран рутин (ч. д. а), как наиболее часто встречающийся в растительных объектах. Стандартный раствор рутина в 96%-ом этиловом спирте с концентрацией 50 мкг/мл готовили по точной навеске. Исследование проводили методом спектрофотометрии на приборе «СФ-46», в кюветах с толщиной слоя 10 мм. С целью выбора оптимальной длины волны предварительно были получены электронные спектры поглощения спиртовых растворов рутина в индивидуальном состоянии и с добавлением хлорида алюминия, вступающего в реакции комплексообразования с рутином. Раствором сравнения служил 96%-ый этиловый спирт. Спектры поглощения представлены на рис. 1.

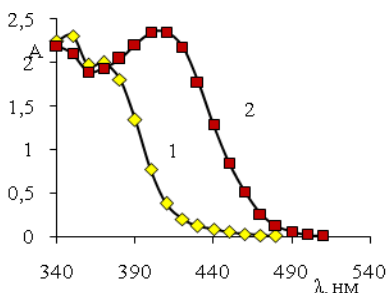


Рис. 1. Электронные спектры поглощения: 1 – спиртового раствора рутина в индивидуальном состоянии, $C = 50 \text{ мкг/мл}$; 2 – спиртового раствора рутина с добавлением хлорида алюминия, $C = 10 \text{ мкг/мл}$

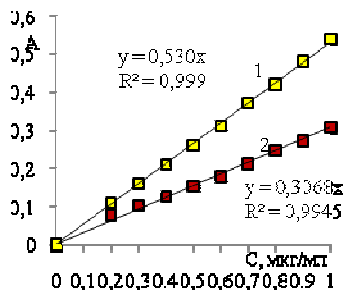


Рис. 2. Градуировочный график: 1 – спиртового раствора рутина в индивидуальном состоянии, $\lambda = 390 \text{ нм}$; 2 – спиртового раствора рутина с добавлением хлорида алюминия, $\lambda = 410 \text{ нм}$

Из представленных данных видно, что взаимодействие рутина с ионами алюминия приводит к bathochromic смещению на 20 нм максимумов поглощения. При оптимальных длинах волн для рутина и для комплекса рутина с хлоридом алюминия были построены калибровочные графики, которые представлены на рис. 2.

Полученные зависимости линейны в интервале определяемых содержаний рутина 0,2- 2 мкг/мл, однако тангенс угла наклона графика для растворов рутина с хлоридом алюминия больше, чем индивидуального рутина, что свидетельствует о большей чувствительности спектрофотометрического определения рутина в составе комплекса.

С использованием полученных градуировочных графиков было проведено определение содержания суммы флавоноидов в биологической активной добавке с условным названием «Таблетки успокаивающего действия, содержащие экстракты валерианы, пустырника, мяты, мелиссы, хмеля». Для этого 6 граммов порошка растертых таблеток растворяли в 50%-ом растворе этилового спирта перемешивали на магнитной мешалке в течение 30 минут. Далее полученную суспензию разбавляли в 5 раз в 50%-ом спирте с добавлением 2 мл спиртового раствора хлорида алюминия и через 40 минут измеряли оптическую плотность раствора. Параллельно измеряли оптическую плотность раствора рутина со спиртовым раствором хлорида алюминия. Содержание суммы флавоноидов в одной таблетке в пересчете на рутин в миллиграммах вычисляли по формуле:

$$X = \frac{A \cdot a_0 \cdot P \cdot 50 \cdot 25 \cdot 1 \cdot G}{A_0 \cdot a \cdot 100 \cdot 100 \cdot 5 \cdot 25},$$

где A – оптическая плотность испытуемого раствора; A_0 – оптическая плотность РСО рутина; a – навеска порошка растертых таблеток, в граммах; a_0 – навеска стандартного образца рутина, в миллиграммах; G – средняя масса таблетки, в граммах; P – содержание рутина в стандартном образце, в процентах; 1, 25, 50, 100 – разведения, в мл.

Содержание флавоноидов в анализируемом препарате составило 0,4117 мг/таб., что соответствует требованиям к данному препарату.

Литература

1. Синюткина, С. Е. Экстракция флавоноидов из растительного сырья и изучение их антиоксидантных свойств / С. Е. Синюткина, С. В. Романцова // Вестник ТГУ. – 2011. – Т. 16, вып. 1. – С. 345-347.
2. Сорокина, О. Н. Спектрофотометрическое определение суммарного содержания флавоноидов в лекарственных препаратах растительного происхождения / О. Н. Сорокина, Е. Г. Сумина // Известия Саратовского университета. – 2013. – Т. 13, вып.3. – С. 8-11.

УДК 678.86

Курналева Т. А.

Научные руководители: Ушмарин Н. Ф., канд. техн. наук;

Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

ВЛИЯНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ НА СВОЙСТВА РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО И ЭПИХЛОРИДРИНОВЫХ КАУЧУКОВ

Аннотация. Исследованы реометрические и физико-механические свойства резин на основе бутадиен-нитрильного и эпихлоридриновых каучуков, стойкость этих резин к действию морской воды. Установлено, что для вариантов резиновой смеси на основе эпихлоридриновых каучуков наблюдается пониженные реометрические свойства. Наилучшими физико-механическими показателями, меньшими их изменениями и наименьшей степенью набухания после выдержки в морской воде обладает резина, содержащая 20 мас. ч. каучука Т-3000 и 80 мас. ч. каучука Т-6000.

Ключевые слова: *бутадиен-нитрильный каучук, эпихлоргидриновые каучуки Т-3000 и Т-6000, резиновые смеси, вулканизаты, геометрические, физико-механические и эксплуатационные свойства.*

Эпихлоргидриновые каучуки занимают особое положение в ряду топливо- и термостойких каучуков специального назначения. Их ассортимент достаточно широк. Варьирование свойств этих каучуков осуществляется путем изменения относительного содержания звеньев четырех типов: эпихлоргидриновых, этиленоксидных, пропиленоксидных и эпоксидных, что обуславливает возможность получения резин с различными динамическими, температурными и другими техническими свойствами, такими как газопроницаемость, огнестойкость, масло- и топливостойкость. Поэтому резины на основе эпихлоргидриновых каучуков могут использоваться при производстве уплотнительных колец, манжет, прокладок, работающих в среде масел и топлив, а также в различных растворах. В настоящее время для изготовления уплотнительных элементов, эксплуатируемых при высоких температурах в агрессивных средах, в основном, используются резины на основе бутадиен-нитрильного каучука. Однако эти резины обладают ограниченной стойкостью к воздействию морской воды. В связи с этим нами проведены исследования по разработке стойкой к воздействию морской воды резины с применением эпихлоргидриновых каучуков.

Первым (базовым) вариантом являлась резиновая смесь, в состав которой входили бутадиен-нитрильный каучук, перекись бензоила, каптакс; магнезия жженая; стеарин; технический углерод П 803 и другие ингредиенты. Варианты 2-4 готовились на основе резиновой смеси, содержащей комбинации эпихлоргидриновых каучуков Т-3000 и Т-6000, серную систему вулканизации, цинковые белила, стеарин, технический углерод П 324 и другие ингредиенты. Резиновые смеси готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 150/150, кинетику её вулканизации изучали на реометре MDR 3000 фирмы «Mon Tech» при 150°C. Затем резиновые смеси вулканизовали в двухэтажном гидравлическом электрообогреваемом прессе ВП-400-2Э при температуре 150°C в течение 30 мин. В результате получали вулканизаты в виде стандартных образцов и шайб, которые далее использовали для исследования физико-механических свойств. Влияние морской воды (10% раствор морской соли) на эксплуатационные свойства полученных вулканизатов исследовалось путем определения изменений физико-механических свойств и степени

набухания вулканизатов после их выдержки в морской воде при 40°C в течение 15 суток. Результаты исследований приведены в таблице.

Свойства резиновых смесей и вулканизатов

Каучуки, показатели	Варианты резиновой смеси, мас. ч.			
	1	2	3	4
1. Бутадиен-нитрильный	100	-	-	-
2. Т-3000	-	20,0	50,0	80,0
3. Т-6000	-	80,0	50,0	20,0
<i>Реометрические свойства резиновой смеси при 170°C</i>				
M_L , дН·м	2,66	2,62	2,52	2,66
M_H , дН·м	25,02	16,27	16,27	16,84
t_s , мин	2,05	1,11	1,17	1,07
t_{90} , мин	3,94	4,77	4,77	4,69
<i>Свойства вулканизатов (режим вулканизации 150°C×30 мин)</i>				
f_p , МПа	8,8	9,0	7,6	6,7
ε_p , %	250	270	230	220
H , ед. Шор А	64	66	64	62
B , Н/мм	39	40	39	38
S , %	42	46	45	50
<i>Свойства вулканизатов после воздействия морской воды (40°C×15 суток)</i>				
$\Delta f_p/\Delta f$, %	-14,2	-4,2	-5,1	-5,6
$\Delta \varepsilon_p/\Delta \varepsilon$, %	-15,4	-4,5	-6,1	-7,1
ΔH , ед. Шору А	+6	+1	+2	+3
α , %	3,7	0,9	1,4	1,7

Примечание: M_L и M_H – минимальный и максимальный крутящие моменты; t_s – время начала вулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации; f_p – условная прочность при растяжении; ε_p – относительное удлинение при разрыве; B – сопротивление раздиру; S – эластичность по отскоку; H – твердость; $\Delta f_p/f_p$, $\Delta \varepsilon_p/\varepsilon_p$ – изменение показателя, равное отношению разности между его значениями после и до выдержки в морской воде к исходному значению; ΔH – разность значений твердости после и до выдержки в морской воде; α – степень набухания.

Из данных таблицы следует, что по сравнению с резиновой смесью на основе бутадиен-нитрильного каучука (вариант 1) для резиновой смеси, содержащей эпихлоргидриновые каучуки Т-3000 и Т-6000 (варианты 2-4), наблюдается уменьшение минимального и максимального крутящих моментов, времен начала и оптимума вулканизации. Наилучшими физико-механическими показателями обладает вулканизат второго варианта. Для вулканизата второго варианта резиновой смеси, в ко-

торой содержатся 20 мас. ч. каучука Т-3000 и 80 мас. ч. каучука Т-6000, наблюдается меньшее изменение упруго-прочностных свойств и наименьшая степень набухания после выдержки в морской воде. Это объясняется наличием в этих каучуках эпихлоргидриновых, этиленоксидных, пропиленоксидных и эпоксидных фрагментов, которые при соотношении Т-6000:Т-3000=80:20 обеспечивают равномерную густоту пространственной сетки резины.

УДК 544.43

Кухтенко Н. А., Фоминых В. Л.

Поволжский государственный технологический университет

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

Аннотация. *Представлены история открытия, теория колебательных реакций, методика эксперимента для лабораторных и практических занятий.*

Ключевые слова: *колебательные реакции, механизм, самоорганизация.*

Цель работы – рассмотреть историю открытия и теорию колебательных реакций, подобрать реагенты и провести эксперимент, отработать методику проведения эксперимента.

Колебательные реакции представляют собой циклический процесс, который складывается из многократных повторений одного и того же превращения. Протекают они с участием катализатора, обладающего окислительно-восстановительными свойствами, и часто катализатором является один из продуктов реакции, то есть реакции являются автокаталитическими. В ходе реакций концентрации промежуточных соединений и скорость реакции испытывают колебания [1].

Впервые колебательную химическую реакцию, проявляющуюся в виде периодических вспышек при окислении паров фосфора, наблюдал Роберт Бойль в конце XVII века. Целая серия колебательных реакций и в гомогенных и гетерогенных системах была описана в первой половине XIX века. Однако они не привлекли особого внимания, поскольку еще не существовала химическая кинетика как наука, которая вместе с термодинамикой зародилась только во второй половине XIX века. Предсказания возможности колебаний в химических системах делались, начиная с 1910 года, на основе анализа системы дифференциальных урав-

нений в работах А. Лотки. В 1921 году У. Брей опубликовал статью, в которой достаточно подробно описана первая колебательная жидкофазная реакция разложения пероксида водорода, катализируемая иодатом. Брей осознавал связь между своим открытием и прогнозом Лотки, но его работа не вызывала интереса в течение примерно 40 лет. Одна из причин такого безразличия – довольно низкий уровень развития методов исследования механизмов сложных химических реакций. Другой причиной было широко распространенное мнение, что второй закон термодинамики запрещает такие колебания. Признать их – это почти признать существование вечного двигателя. Однако второй закон термодинамики не накладывал никаких ограничений на процессы в системах, далеких от состояния равновесия. Современная история исследований колебательных химических реакций в жидкой фазе началась в 1951 году, когда Б. П. Белоусов открыл колебания концентраций окисленной и восстановленной форм церия в реакции взаимодействия лимонной кислоты с броматом калия, катализируемой ионами церия. Раствор регулярно менял свою окраску от бесцветной к желтой, обусловленной наличием церия (IV), затем снова к бесцветной, которую вызывали ионы церия (III). Белоусов провел достаточно подробное исследование этой реакции и, в частности, показал, что период колебаний сильно уменьшается с повышением кислотности среды и температуры. Реакция была удобной для лабораторных исследований, поскольку колебания можно было легко наблюдать визуально, а их период находился в пределах 10-100 с, совпадая с естественным масштабом времени человека-наблюдателя. Однако статья Белоусова с описанием колебательной реакции дважды отклонялась редакциями академических журналов. Лишь в 1958 году сокращенный вариант вышел в малоизвестном «Сборнике рефератов по радиационной медицине». В конце 1961 года работа Б. П. Белоусова была продолжена А. М. Жаботинским, которым было показано, что автоколебательная реакция может осуществляться и в том случае, когда лимонная кислота заменена малоновой или любой другой дикарбоновой кислотой с активной метиленовой группировкой, а каталитическая пара церий (IV)/ церий (III) заменена парой марганец (III)/ марганец (II) или ферроин / ферриин (комплекс железа (II)/(III) с о-фенантролином). После работ А. М. Жаботинского в нескольких лабораториях мира стали интенсивно изучать реакцию, которая сейчас широко известна под названием «реакция Белоусова-Жаботинского», благодаря опубликованной статье в малоизвестном сборнике [2].

Детальный механизм реакции Белоусова все еще известен не полностью, число промежуточных продуктов достигло четырех десятков, а промежуточных стадий – десяти, и изучение продолжается. Схематично процесс можно описать так. На первой стадии ионы двухвалентного железа ферроина окисляются в трехвалентное железо ферриина бромат-ионом, что заметно по изменению окраски с красной на синюю. На следующей стадии трехвалентное железо окисляет малоновую кислоту, при этом железо переходит в исходную форму, то есть ферроин играет роль катализатора. Своеобразие этой реакции состоит в том, что на второй стадии в качестве побочного продукта образуются бромид-ионы, которые ингибируют первую стадию, а на вторую стадию влияния не оказывают. В результате в реакционной смеси накапливаются продукты второй стадии и, прежде всего, ионы двухвалентного железа. В определенный момент их накапливается так много, что бромид-ионы уже не могут далее тормозить стадию один. Таким образом, ионы брома играют роль спускового крючка, не позволяющего до определенного момента стартовать первой стадии. Внешне это выглядит так, что реакционная смесь мгновенно синее, а затем медленно принимает лилово-красный цвет.

Реакция Белоусова–Жаботинского нашла применение в различных областях науки и техники. Она используется как модель для исследования нарушений работы сердца – аритмии и фибрилляций. Светочувствительная модификация этой реакции может быть прототипом вычислительного комплекса для хранения и обработки изображения. Колебательные реакции являются ярким примером самоорганизации в неживой природе и стали одним из начальных импульсов создания теорий самоорганизации – неравновесной термодинамики и синергетики. При создании теорий самоорганизации были обнаружены поразительные аналогии. Оказалось, что многие природные явления – образование галактик, смерчей, циклонов, происхождение и развитие жизни, Земли, игра света на отражающих поверхностях – все это процессы самоорганизации.

Подводя итог, следует сказать, что методика эксперимента отработывалась нами с той целью, чтобы иметь возможность проводить реакцию на лабораторных занятиях по химии, и демонстрировать ее, как пример самоорганизации, на практических занятиях студентам, изучающим дисциплину «Современная научная картина мира».

Экспериментальная часть. Временная самоорганизация. В химических стаканчиках готовятся два раствора: 1) 20 мл насыщенного раствора малоновой кислоты, в который добавляется 0,05 г ферроина; 2) 2,2 мл концентрированной серной кислоты растворяется в 50 мл

воды, а затем добавляется 3,52 грамма бромата калия и растворяется при нагревании. Первый раствор ставится на магнитную мешалку и при постоянном перемешивании добавляется второй раствор после его остывания. Происходит периодическая смена окраски с лилово-красной на синюю, и наоборот.

Пространственная самоорганизация. Раствор (1) выливается в чашку Петри тонким слоем. Медленно добавляется второй раствор. Через некоторое время на поверхности наблюдается образование постоянно меняющихся узоров.

Литература

1. Гарел, Д. Колебательные химические реакции / Д. Гарел, О. Гарел. – М.: Мир, 1986.

2. Шноль, С. Э. Герои, злодеи, конформисты отечественной науки. – Изд. 4-е, стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 720 с.

УДК 343.2

Нурбеков Ш. Н., Винокурова Р. И.

Поволжский государственный технологический университет

ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Рассмотрены химические системы, способные аккумулировать солнечную энергию в виде энергии напряжения химических связей.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, солнечная энергия, химические системы, система норборнадиен – квадрициклан.

Современная энергетика опирается главным образом на такие источники, в которых запасена солнечная энергия. Прежде всего, это ископаемые виды топлива, для образования которых требуются миллионы лет. Однако истощение месторождений нефти, угля и природного газа неизбежно, и, по различным оценкам, время, отпущенное на то, чтобы переключиться на альтернативные источники энергии составляет 100-150 лет. Такими альтернативными источниками являются океаническая, ветровая, вулканическая и, конечно же, солнечная энергии. Резервы солнечной энергии значительно превышают не только современные, но и будущие энергетические потребности человечества. Человек с са-

мого своего появления на Земле направил энергию Солнца себе на пользу. Одним из первых, кто составил план использования Солнца в промышленности, был итальянский изобретатель Леонардо да Винчи. Это был проект гигантского параболического зеркала, снабжающего теплом фабричные котельные. Первые солнечные нагреватели появились во Франции.

Основоположник космической философии К. Э. Циолковский указал на практическую возможность использования огромной энергии Солнца. Он писал: «Реактивные приборы завоюют людям беспредельные пространства и дадут солнечную энергию в два миллиарда раз большую, чем та, которую человечество имеет на Земле». В начале XX века Ю. В. Кондратюк предложил использовать солнечную энергию с помощью огромных зеркал, которые следует разворачивать около ракеты. Энергия Солнца, сконцентрированная с помощью этих зеркал, разлагала бы воду на водород и кислород, которые можно было бы использовать для нужд ракеты. В 30-х годах XX века советский физик А. Ф. Иоффе высказал мысль об использовании полупроводниковых фотоэлементов в солнечной энергетике. Позже М. К. Тихонравов, советский конструктор в области ракетно-космической техники, участник создания первых советских искусственных спутников Земли, космических кораблей, автоматических межпланетных станций, предложил с помощью фотоэлементов трансформировать лучистую энергию космического пространства в электрическую, затем электрическую – в тепловую путём нагрева газа в камере ракеты.

КПД материалов того времени составлял лишь 1%, т. е. в электричество превращалась лишь сотая часть световой энергии. После того, как удалось увеличить КПД до 10-15%, американские ученые создали солнечные батареи современного типа. В 1970 году группа советских ученых под руководством Ж. Алферова представила первую высокоэффективную батарею с применением гелия и мышьяка с КПД 17%.

Нефтяной кризис в 1973-74 годах пробудил всплеск интереса к солнечной энергетике и, прежде всего, к поиску химических способов аккумуляции солнечной энергии. Необходимость в эффективном использовании солнечной энергии давно поняли в развитых странах нашей планеты. Среди таких стран, можно перечислить десять основных, которые лидируют по использованию солнечной энергии. Этими странами являются: Германия, Италия, Япония, США, Испания, Китай, Франция, Чехия, Бельгия и Австралия. Бесспорным мировым лидером

по использованию солнечной энергии и выработке электроэнергии на ее базе является Германия.

Энергия солнечной радиации захватывается и аккумулируется благодаря широкому спектру разнообразных фотохимических процессов – от нагревания атмосферы в дневное время путем поглощения в УФ-области спектра (через реакции) до поглощения хлорофиллом излучения в красной и синей областях и последующего переноса этой энергии на синтез углеводов. Без фотохимических процессов жизнь была бы невозможна. Диапазон использования солнечного излучения чрезвычайно широк. Системы, аккумулирующие солнечную энергию, делятся на те, в которых используются физические теплоносители, и на системы, в которых используются неорганические вещества, способные к циклическим реакциям термического разложения – синтеза (оксиды, сульфаты, гидраты, карбонаты).

Другой тип устройств преобразует энергию излучения в электрическую, тепловую или энергию химических реакций с использованием фотофизических или фотохимических процессов. Среди фотохимических путей преобразования солнечной энергии наиболее значимыми являются следующие: фотокаталитическое разложение воды под действием металлокомплексных соединений; создание «солнечных фотоэлектролизёров», основанных на фотоэлектронных переносах или фотогальваническом эффекте; фотосинтез – наиболее эффективный биохимический способ преобразования энергии Солнца. Наряду с ними значительный интерес представляют химические системы, способные аккумулировать солнечную энергию в виде энергии напряжения химических связей. Термическая рекомбинация свойственна и некоторым неорганическим системам, например фоторазложению нитрозилхлорида: $\text{NOCl} \rightarrow \text{NO} + 1/2\text{Cl}_2$.

Основное преимущество органических систем перед неорганическими связано с возможностью широкого варьирования строения молекул с целью улучшения их спектральных характеристик как аккумуляторов и преобразователей солнечной энергии. Один из наиболее перспективных объектов для такого рода превращений – система норборнадиен-квадрициклан. Соединения норборнадиенового ряда (C_7H_8) могут быть достаточно легко синтезированы по реакции диенового синтеза на основе крупнотоннажных продуктов органического синтеза – циклопентадиена и ацетилена.

Квадрициклан – напряжённый полициклический углеводород, имеющий потенциальное применение в качестве добавки к ракетному

топливу, а также в превращении солнечной энергии. Использование этого углеводорода, однако, ограничивается тем, что вещество распадается при относительно низких температурах (200-300°C). Однако на пути масштабного использования тепловой энергии, выделяющейся при каталитическом превращении квадрициклана в норборнадиен, имеются препятствия экономического характера. Так, в настоящее время стоимость тепла (в виде водяного пара), получаемого этим способом, в 50 - 100 раз превышает аналогичные показатели для традиционных методов. Необходима дальнейшая модификация этих систем. Тем не менее, в некоторых развитых странах уже проводятся разработки малогабаритных экспериментальных установок, работающих на норборнадиене для обогрева зданий, садовых домиков, теплиц, что оправдывает свое существование, несмотря на высокие расходы, уже сейчас, например, для солнечных регионов, удалённых от других источников энергии, для искусственных спутников. Тем не менее, в настоящее время фотохимические процессы в крупномасштабном производстве имеют подчинённое значение прежде всего потому, что ещё не решены сложные сопутствующие технические проблемы. Необходима дальнейшая разработка и модификация таких систем.

УДК 678.5

Семенова О. Д., Иванова А. В.

Научные руководители: Ушмарин Н. Ф., канд. техн. наук;

Егоров Е. Н., канд. хим. наук, старший преподаватель;

Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСОРБЦИОННОЙ ДОБАВКИ НА ВОДОНАБУХАНИЕ РЕЗИНЫ

***Аннотация.** Исследовано влияние полиакриламида АК 639 в качестве гидросорбционной добавки на физико-механические свойства и степень водонабухания резины на основе хлоропренового каучука.*

***Ключевые слова:** гидросорбционная добавка, полиакриламид АК 639, резина, набухание, физико-механические, деформационно-прочностные и эксплуатационные свойства.*

В настоящее время за рубежом активно развивается технология разобщения пластов и изоляции межпластовых перетоков и другие виды работ при креплении скважин с применением так называемых набухающих пакеров, в которых уплотнительный элемент выполнен из резины, способной увеличиваться в объеме при контакте с водой или нефтью. Существенными достоинствами таких пакеров являются [1]: отсутствие в их конструкции подвижных частей, что позволяет обойтись без проведения специальных операций и приглашения квалифицированных специалистов по их установке в скважине или применения специального спускового инструмента; способность к «самозалечиванию» и восстановлению герметизирующих свойств; надежная и необратимая изоляция пластов при строительстве скважин. В работах [2-4] исследовались гидросорбционные свойства резин на основе хлоропреновых и бутадиен-нитрильных каучуков в комбинации с гидрофильными добавки (олигомерные смолы, производные крахмала, полиакрильвинилацетаты, поливинилового спирта, натрий-карбоксиметилцеллюлозы, полиэтиленоксид). Изготовленные из них уплотнительные элементы, хорошо сорбируясь в воде, теряют объем и массу с течением времени за счет вымывания гидрофильных добавок. В работе [5] приведены данные о водонабухаемых абсорбентах на основе полимеров и сополимеров акриламида. Такие полимеры набухают в воде, поглощая и удерживая большое количество жидкости. В связи с этим нами изучено влияние полиакриламида АК 639 в качестве гидросорбционной добавки на водонабухание в составе резины на основе хлоропренового каучука. Резиновая смесь, кроме каучука и гидросорбционной добавки, содержала серу, дифенилгуанидин, оксид цинка, оксид магния, стеарин, технический углерод ТУ П 803 и другие ингредиенты. Содержание полиакриламида АК 639 варьировалось от 25,00 до 100,00 мас.ч. на 100,00 мас.ч. каучука. Полиакриламид АК 639 вводился в резиновую смесь при её изготовлении на лабораторных вальцах ЛБ 320 150/150. Из результатов исследования влияния содержания гидросорбционной добавки на физико-механические свойства следует, что с увеличением содержания полиакриламида АК 639 наблюдается уменьшение условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве, сопротивления раздиру, эластичности по отскоку, но повышается твердость резины.

Исследование эксплуатационных свойств резины проводилось путем изучения изменений деформационно-прочностных свойств и степени объемного набухания резины в условиях воздействия воды в течение определенного времени. Результаты исследования приведены на рис. 1.

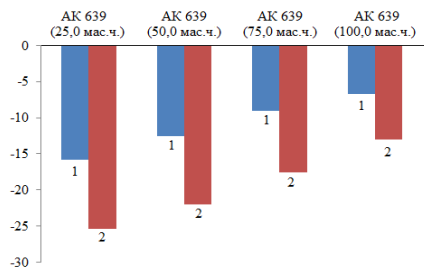


Рис. 1. Изменение деформационно-прочностных свойств резины после суточной выдержки в дистиллированной воде при 70°C: 1 – условной прочности при растяжении, %; 2 – относительного удлинения, %

Как видно, наименьшими изменениями условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве характеризуется вулканизат, содержащий наибольшее количество полиакриламида АК 639. На рис. 2 представлены результаты исследования объемной степени набухания (α) вулканизатов в дистиллированной воде.

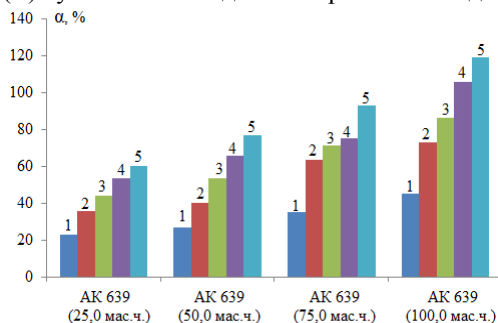


Рис. 2. Изменение объемной степени набухания резины после выдержки при 70°C в дистиллированной воде (сутки): 1 – 1; 2 – 3; 3 – 5; 4 – 10; 5 – 15

Из рис. 2 следует, что с увеличением содержания полиакриламида АК 639 и длительности выдержки резины в воде степень её набухания возрастает. Причем резина, содержащая 100,00 мас. ч. полиакриламида АК 639, характеризуется наибольшей степенью объемного набухания.

Таким образом, нами изучено влияние полиакриламида АК 639 на физико-механические и эксплуатационные свойства резины на основе

хлоропренового каучука. Показано, что с увеличением содержания полиакриламида происходит возрастание степени набухания и понижение в допустимых пределах деформационно-прочностных свойств резины.

Литература

1. Совершенствование технических средств для разобщения пластов и изоляции межпластовых перетоков / В. В. Торопынин, В. И. Ванифатьев, А. В. Влазов и др. // Бурение и нефть. – 2009. – №12. – С. 49-51.
2. Ахмедзянова, Д. М. Исследование гидросорбционного материала на основе термопластичной резиновой смеси / Д. М. Ахмедзянова, М. Ф. Галиханов, Н. Р. Никитин // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т.18. – № 8. – С. 76-80.
3. Ахмедзянова, Д. М. Изучение сорбционных свойств водонабухающей термопластичной резиновой смеси / Д. М. Ахмедзянова, Н. Р. Никитин // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 12. – С. 40-43.
4. Кольцов Н.И. Исследование гидросорбционных свойств резины / О. Д. Семенова, А. В. Иванова, Н. Ф. Ушмарин и др. // Научному прогрессу – творчество молодых: сб. материалов XI Международной молод. науч. конф. по естеств. и техн. дисциплинам: в 4 ч. – Ч.1. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. – С. 245-247.
5. Куренков, В. Ф. Водорастворимые полимеры акриламида / В. Ф. Куренков // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №5. – С. 48-53.

УДК 601

Уралиева А. С., Денисова О. Н.

Поволжский государственный технологический университет

ФЕРМЕНТЫ – БИОЛОГИЧЕСКИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ

Аннотация. *Рассматриваются некоторые аспекты теории биокатализа, биологическая роль ферментов в жизни живых организмов и человека.*

Ключевые слова: *ферменты, биокатализаторы, ферментная активность, биологическая роль ферментов.*

Ферменты (от лат. «fermentum» – брожение, закваска), энзимы, специфические белки, увеличивающие скорость протекания химических реакций в клетках всех живых организмов. Их называют также биокатализаторами по аналогии с катализаторами в химии. Каждый вид ферментов катализирует превращение определенных веществ (субстратов),

иногда лишь единственного вещества в единственном направлении. Поэтому многочисленные биохимические реакции в клетках осуществляет огромное число различных ферментов.

Существуют два основных пути повышения скорости химической реакции. Первый путь – повышение температуры, то есть ускорение теплового движения молекул, которое приводит к увеличению доли молекул, обладающих достаточной внутренней энергией для достижения переходного состояния. Согласно правилу Вант Гоффа, повышение температуры на 10 °C вызывает ускорение химической реакции приблизительно в 2-4 раза.

Второй путь ускорения химической реакции – добавление катализатора. Катализаторы ускоряют химические реакции, позволяющие молекулам преодолевать активационный барьер на более низком энергетическом уровне. Ферменты – самые активные среди всех известных катализаторов. Большинство реакций в клетке протекает в миллионы и миллиарды раз быстрее, чем если бы они протекали в отсутствие ферментов. Так, одна молекула фермента каталазы способна за секунду превратить в воду и кислород до 10 тыс. молекул токсичной для клеток перекиси водорода, образующейся при окислении различных соединений. Каталитические свойства ферментов обусловлены их способностью существенно уменьшать энергию активации вступающих в реакцию соединений.

Ферменты выступают в роли катализаторов практически во всех биохимических реакциях, протекающих в живых организмах. К 2013 году было описано более 5000 разных ферментов. Они играют важнейшую роль во всех процессах жизнедеятельности, направляя и регулируя обмен веществ организма.

Процессы, протекающие при участии ферментов, известны человеку с глубокой древности, ведь в основе приготовления хлеба, сыра, вина и уксуса лежат ферментативные процессы. Но только в 1833 году впервые из прорастающих зерен ячменя было выделено активное вещество, осуществляющее превращение крахмала в сахар и получившее название диастазы (ныне этот фермент называется амилазой). В конце 19 века было доказано, что сок, получаемый при растирании дрожжевых клеток, содержит сложную смесь ферментов, обеспечивающих процесс спиртового брожения. С этого времени началось интенсивное изучение ферментов – их строения и механизма действия.

Определённый ферментный потенциал мы наследуем при рождении. Этот ограниченный запас рассчитан на всю жизнь. Мы живём так долго, пока наш организм обладает факторами ферментной активности, из которых он производит новые ферменты. Когда мы достигаем такого мо-

мента, когда наш организм больше не способен производить ферменты, наша жизнь заканчивается.

Для людей основным источником «дополнительных» ферментов является пища. Она должна содержать их «определенный набор». Если ферменты присутствуют в еде, то они сами осуществляют значительную часть работ по перевариванию пищи. Но если мы едим пищу, прошедшую термическую обработку, лишённую ферментов, организм вынужден сам производить ферменты для переваривания. Это намного уменьшает ограниченный ферментный потенциал. Сегодня известно, что раковые клетки защищены белковой оболочкой, которая мешает иммунной системе их распознать. Удалить эту оболочку могут только ферменты, разоблачая, таким образом, злокачественные клетки. Вот почему онкологическим больным в их диете ограничивают мясо или исключают его вовсе: этим самым сберегают ферменты, уходящие на расщепление мяса, дают им возможность участвовать в разоблачении раковых клеток. Так что, если мы едим что-то вареное, а мясо всегда подвергается тепловой или иной обработке, то обязательно нужно есть вместе с вареным продуктом в 3 раза больше сырых овощей. Ферменты постоянно работают в организме: без них не совершается ни один процесс. Они расщепляют пищу на клеточном уровне, создают из белков мышцы, выделяют из легких углекислый газ, поддерживают работу иммунной системы в ее борьбе с инфекцией, повышают уровень выносливости организма, помогают пищеварительной системе правильно функционировать. Кроме всего перечисленного, ферменты:

- уничтожают и выводят из организма различные жиры;
- предупреждают хроническое течение болезни;
- сохраняют нам молодость и помогают хорошо выглядеть;
- усиливают энергию и выносливость;
- препятствуют гормональному дисбалансу в организме.

Отсутствие или снижение активности какого-либо фермента (а нередко и избыточная активность) у человека приводит к развитию заболеваний (энзимопатий) или гибели организма. Так, передаваемое по наследству заболевание детей – галактоземия (приводит к умственной отсталости) – развивается вследствие нарушения синтеза фермента, ответственного за превращение галактозы в легко усваиваемую глюкозу. Причиной другого наследственного заболевания – фенилкетонурии, сопровождающегося расстройством психической деятельности, является потеря клетками печени способности синтезировать фермент, катализирующий превращение аминокислоты фенилаланина в тирозин.

Так как ферменты сохраняют свои свойства и вне организма, их успешно используют в различных отраслях промышленности. Например,

протеолитический фермент папайи (из сока папайи) – в пивоварении, а также для смягчения мяса; пепсин – при производстве «готовых» каш и как лекарственный препарат; трипсин – при производстве продуктов для детского питания; реннин (сычужный фермент из желудка телят) – в сыроварении. Каталаза широко применяется в пищевой и резиновой промышленности, а расщепляющие полисахариды целлюлазы и пектидазы – для осветления фруктовых соков

Литература

1. Нечаев, А. П. Пищевые добавки / А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова, А. Н. Зайцев. – М.: Колос, 2002. – 256 с.
2. Биохимия растительного сырья / под ред. Щербакова В. Г. – М.: Колос, 1999. – 376 с.
3. <http://www.krugosvet.ru/articles/03/1000310/1000310a1.htm>.
4. http://www.gazeta.ru/science/2007/10/15_a_2241957.shtml?incut2.
5. <http://www.cleandex.ru/articles/2008/07/07/biomimetic-1>.

УДК 539.376

Худошин Я. О.

Научный руководитель: Фоминых В. Л., канд. хим. наук, доцент
Поволжский государственный технологический университет

КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ, ИХ ХИМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Аннотация. Под популярным названием «кислотные дожди» кроется сложный комплекс воздействий техногенных загрязнений воздуха на человека и природную среду, главные последствия которых – рост заболеваний дыхательных органов, потеря урожайности растений, усыхание лесов, безрыбные озера. Впрочем, у кислотных дождей есть и полезные свойства.

Ключевые слова: кислотные дожди, загрязнения, заболевания, польза.

Рассматривается задача определения, что такое кислотные дожди, их химическое строение и влияние на окружающую среду.

Кислотные дожди особенно характерны для стран Западной и Северной Европы, США, Канады, промышленных районов Российской Федерации, Украины и др.

Впервые термин «кислотный дождь» был введен в 1872 году английским исследователем Робертом Смитом. И сегодня кислотные дожди являются одной из причин гибели жизни в водоемах, лесов, урожаев, и растительности.

Суть явления. Кислотный дождь – все виды метеорологических осадков – дождь, снег, град, туман, дождь со снегом, при котором наблюдается понижение pH дождевых осадков из-за загрязнений воздуха кислотными оксидами (обычно – оксидами серы, оксидами азота).

Кислотный дождь образуется в результате реакции между водой и такими загрязняющими веществами, как оксид серы (IV) SO_2 и различными оксидами азота ($NxOy$). Эти вещества выбрасываются в атмосферу автомобильным транспортом, в результате деятельности металлургических предприятий и тепловых электростанций.

Соединения серы (сульфиды, самородная сера и другие) содержатся в углях и рудах, при сжигании или обжиге которых образуются летучие соединения – сернистый ангидрид, серный ангидрид, сероводород. Различные соединения азота содержатся в углях и особенно в торфе.

Проблема кислотных дождей в последнее десятилетие приобрела глобальное значение в связи с возросшими выбросами окислов серы и азота, а также аммиака и летучих органических соединений. По данным ЕЭК, двуокись (трехокись) серы поступает при сжигании ископаемого топлива (88%), при переработке сульфидных руд (5%), нефтепродуктов, производстве серной кислоты и др. (7%). Для окислов азота топливно-энергетический дает 85% выбросов, производство цемента, извести, стекла, металлургические процессы, сжигание мусора и др. – 12%.

Последствия воздействия кислотных дождей на среду и здоровье человека. Последствия кислотных дождей – какое они могут оказать губительное воздействие на кожу лица и здоровье в целом – ученые до настоящего времени еще не установили до конца.

Любые осадки содержат в себе мельчайшие частицы пыли, различные патогенные микроорганизмы, примеси тяжелых металлов, которые попадают в атмосферу и другие воздушные слои вместе с отходами многочисленных фабрик и заводов.

Кислотные дожди негативным образом сказываются на состоянии всей окружающей среды. В водоемах с течением времени повышается концентрация ионов тяжелых металлов с высоким уровнем токсичности, к примеру, свинца и кадмия. В связи с этим экологи и представители здравоохранения настоятельно рекомендуют не купаться в водоемах с очень низкой либо очень высокой кислотностью, поскольку это отрицательно отразится на здоровье человека.

Довольно серьезные последствия кислотных дождей для организма и здоровья можно наблюдать при отравлении марганцем и алюминием, которые провоцируют сильную утомляемость, уменьшение работоспособности, сонливость, внезапную слабость, головокружения, тошноту, заболевания неврологического характера.

Многие из примесей могут вызывать злокачественные опухоли, поэтому необходимо при кислотном дожде воздержаться от прогулки и ни в коем случае не нужно применять эту воду.

Но кроме вреда кислотные дожди имеют и полезное действие.

Кислоты, содержащиеся в облаках над океаном, могут разрушать относительно крупные частицы пыли, содержащие железо, на чрезвычайно мелкие и хорошо растворимые наночастицы, которые легко усваиваются планктоном, полагают авторы исследования, опубликованного в журнале *Environmental Science and Technology*.

Считается, что недостаток железа в той форме, в какой его усваивают микроорганизмы, сильно снижает способность планктона перерабатывать атмосферный углекислый газ в ходе фотосинтеза, и противостоять таким образом глобальному потеплению климата.

Ученые провели эксперименты по получению искусственных облаков в лаборатории. К ним они добавляли частицы пыли, которые поднимаются в атмосферу во время песчаных бурь в Сахаре. Таким образом, исследователи смогли отследить все химические процессы, протекающие в подобных системах. Свои лабораторные эксперименты авторы публикации подтвердили полевыми наблюдениями.

Выводы. Как мы убедились, кислотные дожди – очень опасное явление, которое приносит вред окружающей среде. Но оказывается, что кислотные дожди могут приносить и пользу (например, разрушать частицы пыли и железа в воздухе над океаном). Чаще всего в кислотных дождях содержится опасная серная кислота и менее опасная – азотная. В кислотный дождь лучше всего по возможности не выходить наружу. Последствия кислотных дождей поистине разрушающие, они наносят немалый ущерб памятникам культуры, домам, а также сельскому хозяйству. Но всё же выпадение кислотных осадков можно предотвратить, например, использовать более чистое, и менее отходное производство, утилизировать отходы без вреда природе. Кислотные дожди, катаклизмы, аномалии – всё это результат человеческой деятельности. Давайте вместе защищать природу!

Шашина К. А., Соловьева Е. А., Винокуров А. И.
Поволжский государственный технологический университет

ПОДВИЖНЫЕ КРИСТАЛЛЫ ИЛИ ЗАСТЫВШИЕ ЖИДКОСТИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы химии и физики жидких кристаллов, сочетающих анизотропные свойства кристаллов и текучесть обычных жидкостей, определяющие необычные свойства жидкокристаллических соединений, которые широко используются для создания разнообразных электрооптических систем, а также играют существенную роль в биологических процессах.

Ключевые слова: "жидкие кристаллы", жидкокристаллические полимеры, мезогенные группы, термотропные и лиотропные жидкие кристаллы, термография.

Необычное сочетание слов «жидкие кристаллы» (сокращённо ЖК), вероятно, многим уже знакомо, хотя далеко не все себе представляют, что же стоит за этим странным и, казалось бы противоречивым понятием. Эти удивительные вещества удачно сочетают в себе анизотропные свойства кристаллов и текучие свойства жидкостей. ЖК-индикаторы являются основой современных калькуляторов, портативных компьютеров «Notebooks», миниатюрных плоских экранов телевизоров и многих других современных электронных технических приборов и устройств.

Мировое производство ЖК-индикаторов и дисплеев исчисляется миллиардами и, по прогнозам будет увеличиваться и дальше. Не меньший интерес представляют собой жидкие кристаллы с точки зрения биологии и процессов жизнедеятельности. Функционирование клеточных мембран и ДНК, передача нервных импульсов, работа мышц, формирование атеросклеротических бляшек – вот далеко неполный перечень процессов, протекающих в ЖК-фазе.

Жидкокристаллические полимеры с мезогенными группами в боковых цепях используют в основном в качестве функциональных материалов для создания разнообразных тонкоплёночных оптических элементов, поляризаторов, селективных отражателей и светофильтров, для получения регистрирующих сред в системах записи, хранения и отображения информации в оптике, оптоэлектронике и голографии. Линейные жидкокристаллические полимеры, содержащие мезогенные группы в основной цепи макромолекул, а также лиотропные жидкокристаллические полимеры

используют для получения высокомодульных волокон, плёнок и так называемых самоармированных пластиков. Так, на основе растворов ароматических полиамидов (поли-*n*-бензамида, поли-*n*-фенилентерефталамида) получают высокомодульные волокна (типа кевлар), прочность которых в 2-2,5 раза, а модуль упругости в 10-20 раз выше, чем у самых прочных нитей из алифатических полиамидов (типа нейлон). Высокие механические свойства, термостойкость, простота переработки обеспечивают широкое практическое использование жидкокристаллических полимеров в виде конструкционных и армирующих материалов в электронной и радиотехнической промышленности, самолётостроении, космической технике, ракетостроении, для получения шинного корда, создания огнезащитных и других полимерных материалов.

Жидкие кристаллы – вещества, обладающие одновременно свойствами как жидкостей (текучесть), так и кристаллов (анизотропия). По структуре ЖК представляют собой жидкости, похожие на желе, состоящие из молекул вытянутой формы, определённым образом упорядоченных во всем объёме этой жидкости. Наиболее характерным свойством ЖК является их способность изменять ориентацию молекул под воздействием электрических полей.

Жидкие кристаллы открыл в 1888 г. австрийский ботаник Ф. Рейнитцер. Долгое время физики и химики в принципе не признавали жидких кристаллов, потому что их существование разрушало теорию о трёх состояниях вещества: твёрдом, жидком и газообразном.

В 1963 г. американец Дж. Фергюсон (англ. James Ferguson) использовал важнейшее свойство жидких кристаллов – изменять цвет под воздействием температуры – для обнаружения невидимых простым глазом тепловых полей. В 1968 г. американские учёные создали принципиально новые индикаторы для систем отображения информации.

Молекулы ЖК-соединений очень часто называют мезогенами, а группировки или фрагменты молекул, способствующие формированию ЖК-фазы, – мезогенными группами. Среди мезогенных групп чаще всего встречаются бензольные кольца, связанные непосредственно друг с другом или с помощью различных химических группировок ($-\text{CH}=\text{CH}-$, $-\text{CH}=\text{N}-$, $-\text{NH}-\text{CO}-$ и др.).

По своим общим свойствам ЖК можно разделить на *термотропные* ЖК, образующиеся в результате нагревания твердого вещества и существующие в определенном интервале температур и давлений, и *лиомотропные* ЖК, которые представляют собой двух или более компонент-

ные системы, образующиеся в смесях стержневидных молекул данного вещества и воды (или других полярных растворителей).

Термотропные ЖК подразделяются на три больших класса:

- *нематические* жидкие кристаллы. В этих кристаллах отсутствует дальний порядок в расположении центров тяжести молекул. Они ведут себя подобно обычным жидкостям. Нематические фазы встречаются только в таких веществах, молекулы которых ахиральны. Примером вещества, образующего нематический ЖК, может служить N-(пара-метоксибензилиден)-пара-бутиланилин.

- *смектические* жидкие кристаллы имеют слоистую структуру, слои могут перемещаться друг относительно друга. Типичным представителем является терефтал-бис(пара-бутиланилин).

- *холестерические* жидкие кристаллы образуются, в основном, соединениями холестерина и других стероидов. В качестве типичного холестерика можно назвать амил-пара-(4-цианобензилиденамино)-циннамат. Холестерики ярко окрашены, и малейшее изменение температуры (до тысячных долей градуса) приводит к изменению шага спирали и, соответственно, изменению окраски ЖК.

Во всех приведенных типах ЖК характерным является ориентация дипольных молекул в определенном направлении, которое определяется единичным вектором – называемым «директором».

Одно из направлений использования жидких кристаллов – термография. Подбирая состав жидкокристаллического вещества, создают индикаторы для разных диапазонов температуры. С помощью жидких кристаллов обнаруживают пары вредных химических соединений и опасные для здоровья человека гамма- и ультрафиолетовое излучения. На основе жидких кристаллов созданы измерители давления, детекторы ультразвука. Но самая многообещающая область применения жидкокристаллических веществ – информационная техника.

Таким образом, жидкие кристаллы обладают двойственными свойствами, сочетая в себе свойство жидкостей (текучесть) и свойство кристаллических тел (анизотропию). Их поведение не всегда удастся описать с помощью привычных методов и понятий. Мир жидких кристаллов бесконечно велик и охватывает широчайший круг природных и синтетических объектов, привлекая внимание не только ученых – физиков, химиков и биологов, но и исследователей-практиков, работающих в самых разнообразных отраслях современной техники (электронике, оптоэлектронике, информатике, голографии и т. п.).

Ярославлева О. Н.

Научный руководитель: Игнатьев В. А., ст. преподаватель
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова

СИНТЕЗ НОВЫХ ОТВЕРЖДАЮЩИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОСТЫХ ПОЛИЭФИРОВ

Аннотация. Синтезированы полиуретеновые эластомеры на основе промышленного форполимера СКУ-ПФЛ-100 и новых отверждающих систем.

Ключевые слова: полиуретановый эластомер, уретановый форполимер, простой полиэфир, ароматический диамин.

В настоящее время широкое практическое применение получили литьевые уретановые эластомеры марок Адипрен и СКУ-ПФЛ, получаемые на основе политетрагидрофурана, 2,4-толуилendiизоцианата и различных вулканизирующих систем. Для получения полиуретановых эластомеров на их основе (ПУЭ) в качестве отвердителя очень часто используется ароматический диамин – метиленбис(о-хлоранилан). Однако известно, что большинство диаминов обладают высокой токсичностью и реакционной способностью к изоцианатным группам форполимеров, что несколько ограничивает их практическое применение [1, 2]. В связи с этим целью данной работы являлся синтез ПУЭ на основе промышленного уретанового форполимера СКУ-ПФЛ-100 и новых высокотехнологичных отвердителей на основе ароматического диамина и простых полиэфиров различной молекулярной массы.

Синтез ПУЭ проводили в два этапа. На первом этапе готовили отверждающие системы (ОС) растворением ароматического диамина Куралона М в простых полиэфирах марок Лапрол-373, Пропол 1010 и Лапрол-5003 при различном массовом соотношении диамина. При этом нами предварительно была исследована растворимость диамина в полиэфирах и устойчивость полученных составов. Было установлено, что Куралон М неограниченно растворяется в полиэфирах при температуре выше 110°C, однако при понижении температуры до комнатной происходит расслоение системы с выпадением осадка диамина. Максимальное содержание Куралона М в ОС составляет 35 масс. ч., вне зависимости от марки простого полиэфира. Вязкость полученных ОС является одной из важнейших технологических характеристик, во многом определяющих их поведение как в процессе получения, так и при последующей переработке. Поэтому

мы провели исследования по измерению вязкости ОС на основе простых полиэфиров на ротационном вискозиметре типа Брукфильда МТ 202. Результаты измерения вязкости показывают, что с увеличением содержания Куралона М вязкость ОС практически линейно увеличивается. Однако следует отметить, что даже увеличение вязкости ОС не приводит к ухудшению их технологических свойств (ОС являются низковязкими жидкостями технологичными для взвешивания и дозирования).

На втором этапе нами были синтезированы литые ПУЭ на основе промышленного уретанового форполимера СКУ-ПФЛ-100 и полученных выше отверждающих систем. Для этого к навеске форполимера СКУ-ПФЛ добавляли расчетное количество ОС при различном мольном соотношении реагирующих групп ($\text{NCO}/\text{NH}_2 + \text{OH}$) равном от 1:0,8 до 1:1,2. Смесь интенсивно перемешивали в течение 1-2 минут и заливали в заранее приготовленные металлические формы, обработанные антиадгезионной смазкой. ПУЭ отверждали при температуре 100°C в течение 4 ч. В результате были получены образцы ПУЭ, которые представляли собой эластичные с глянцевым блеском материалы светло-желтого цвета. Для них были исследованы основные физико-механические (прочность H , прочность при растяжении $\sigma_{\text{раст}}$, относительное $\varepsilon_{\text{отн}}$ и остаточное $\varepsilon_{\text{ост}}$ удлинения), физико-химические (степень набухания ΔG и растворимость в различных растворителях) и термомеханические свойства.

Таким образом, нами получены и исследованы новые отверждающие системы на основе ароматического диамина и простых полиэфиров различной молекулярной массы и функциональности. Синтезированы полиуретановые эластомеры на основе форполимера СКУ-ПФЛ-100 и полученных отверждающих систем и исследованы их физико-механические и физико-химические свойства. Результаты исследований позволяют значительно расширить ассортимент полиуретановых изделий, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками.

Литература

1. Модификация промышленных уретановых форполимеров тетрагидроксилэтилзамещенными мочевидами / В. А. Игнатьев, М. Н. Кочанова, Т. А. Акаева и др. // Каучук и резина. – 2012. – №2. – С. 16-19.
2. Морозо- и термостойкие композиционные материалы на основе полиуретанов / Л. Г. Рогожина, М. В. Кузьмин, В. А. Игнатьев и др. // ЖПХ. – 2014. – Т. 87, Вып. 7. – С. 957-965.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абсалямов И. Р., *I*, 17
Аверков В. Н., *I*, 146
Андреев Д. А., *I*, 81
Андреева А. А., *I*, 149
Ахметзянова Д. Р., *I*, 84, 159
- Бакиева Д. Р., *I*, 20, 23
Баталова Н. А., *I*, 50, 87
Белова Т. В., *I*, 151
Болдин Н. И., *I*, 20
Будаева О. В., *I*, 154
Булдакова Ю. М., *I*, 53, 56
- Васильев Н. И., *I*, 5
Васильева А. С., *I*, 156
Винокуров А. И., *I*, 194
Винокурова Р. И., *I*, 182
Волкова М. Ю., *I*, 84, 159
- Габдуллин М. Р., *I*, 26
Галиева Э. А., *I*, 162
Герасимов Д. С., *I*, 17
Гилязов Т. Р., *I*, 44
Григорьев А. А., *I*, 128, 138
- Данилова М. В., *I*, 165
Денисова О. Н., *I*, 188
Дженбаев А. А., *I*, 35
Дружинина А. В., *I*, 167
- Егоров Е. Н., *I*, 156
Ефимов К. В., *I*, 171
- Журавлев Е. А., *I*, 59, 62
- Зиборов К. В., *I*, 23
Зыкова А. А., *I*, 26, 65
Иванов С. П., *I*, 81, 87, 90, 98, 108
- Иванова А. В., *I*, 185
Иванова А. С., *I*, 81, 93
Иванова Л. С., *I*, 28
Иванова М. С., *I*, 31
Игнатъева А. П., *I*, 130
Иевлев М. Ю., *I*, 131
Исмоилов М. Ф., *I*, 59
Ишеналиев К. Р., *I*, 35
- Калинина Е. Г., *I*, 173
Карневич В. В., *I*, 96
Карпов С. В., *I*, 128, 138
Кахраманов М. Ф., *I*, 62
Китаев А. В., *I*, 117
Колпаков А. А., *I*, 98
Комлева М. А., *I*, 53
Коновалова Ю. А., *I*, 71
Косимов Ф. И., *I*, 47
Круглова А. И., *I*, 120
Кудрявцев А. А., *I*, 68
Кудрявцев С. Г., *I*, 53, 56
Кузнецова Е. В., *I*, 71
Кузякина А. А., *I*, 41
Куликов Ю. А., *I*, 65
Куликова Д. Н., *I*, 132
Курналева Т. А., *I*, 176
Кухтенко Н. А., *I*, 179
- Лобанова О. В., *I*, 159
Лоскутов Ю. В., *I*, 50
- Майорова Е. В., *I*, 125
Макарова Н. И., *I*, 120
Маргин А. Н., *I*, 23
Миловидова А. Г., *I*, 135
Мингалиев Д. Д., *I*, 102
Митрофанов В. Е., *I*, 74
Муминов Нодиржон, *I*, 38

Мурзаева М. А., *I*, 8

Найденова А. И., *I*, 137

Нашенкина М. С., *I*, 41

Никифорова А. Л., *I*, 138

Николаева А. Р., *I*, 105

Нурбеков Ш. Н., *I*, 35, 182

Орлова А. С., *I*, 87

Парфенов А. А., *I*, 139

Пахмутов А. С., *I*, 17

Пелипенко Д. В., *I*, 156

Перов Д. Ю., *I*, 20

Петьков В. А., *I*, 44

Поликарпова А. А., *I*, 159

Полозов А. А., *I*, 90

Полянина Ю. С., *I*, 108

Рассанова А. В., *I*, 56

Родникова А. В., *I*, 65

Румянцев А. С., *I*, 90

Рубцова А. А., *I*, 23

Сапаков Н. Д., *I*, 11

Сахбиев О. М., *I*, 111

Сафрошин Р. Э., *I*, 123

Свидерский О. В., *I*, 117

Семенова О. Д., *I*, 185

Серикова Н. Ю., *I*, 146

Силкина О. В., *I*, 146

Смирнова Л. Г., *I*, 132

Солиев Ф. Ф., *I*, 47

Соловьева Е. А., *I*, 194

Спиридонов И. С., *I*, 149

Старыгина П. А., *I*, 125

Суркова В. А., *I*, 149

Таланцев А. Р., *I*, 17

Тикинева М. Н., *I*, 141

Тришина Е. В., *I*, 28

Трушков К. О., *I*, 17

Уктамов А. З., *I*, 47

Уралиева А. С., *I*, 188

Федосеев С. В., *I*, 142

Филимонова А. А., *I*, 114

Фоминых В. Л., *I*, 179

Худошин Я. О., *I*, 14, 191

Цветков В. В., *I*, 78

Чунихин С. С., *I*, 144

Шашина К. А., *I*, 194

Шишликова М. А., *I*, 145

Якимова А. А., *I*, 154

Ярославлева О. Н., *I*, 197

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
Секция «Математика»	5
Секция «Теоретическая и экспериментальная физика»	17
Секция «Прикладная механика»	50
Секция «Строительная механика и теория сооружений»	81
Секция «Прикладная геометрия и компьютерная графика»	117
Секция «Органический синтез и химическая технология»	128
Секция «Прикладная и экологическая химия»	146
<i>Авторский указатель</i>	199

Научное издание

НАУЧНОМУ ПРОГРЕССУ –
ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ

Материалы
XII Международной молодежной научной конференции
по естественнонаучным и техническим дисциплинам

В 4 частях

Часть 1

Компьютерная верстка Э. В. Унженевой

Подписано в печать 28.07.17. Формат 60х84^{1/16}.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 11,74. Тираж 150 экз. Заказ № 6041.

Поволжский государственный технологический университет
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Редакционно-издательский центр
Поволжского государственного технологического университета
424006 Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

