

ISSN 2415-7996

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

*Центр фундаментального образования*

# *НАУЧНОМУ ПРОГРЕССУ – ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ*

Материалы  
XV международной молодежной научной конференции  
по естественнонаучным и техническим дисциплинам

*Йошкар-Ола, 17-18 апреля 2020 года*

Часть 1

Йошкар-Ола  
ПГТУ  
2020

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. Унженина*, специалист по учебно-методической работе ЦФО;

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

**Научному прогрессу – творчество молодых:** материалы XV Н 34 международной молодежной научной конференции по естественно-научным и техническим дисциплинам (Йошкар-Ола, 17-18 апреля 2020 г.): в 2 ч. / редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2020. – Ч. 1. – 212 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», «Метрология, стандартизация, сертификация», «Материаловедение и технология машиностроения».

УДК 378.147.88

ББК 74.58

---

*Научное издание*

**НАУЧНОМУ ПРОГРЕССУ – ТВОРЧЕСТВО МОЛОДЫХ**

*Материалы XV Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам в 2 частях*

Часть 1

Компьютерная верстка *Э. В. Унжиной*

Отв. за выпуск *Э. В. Унжиной*

Подписано в печать 19.08.20. Формат 60x84<sup>1/16</sup>. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 12,32. Тираж 100 экз. Заказ №3497

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Вертола»

424030, Республики Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Льва Толстого, д. 45.

---

ISSN 2415-7996

© Поволжский государственный  
технологический университет, 2020

## 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.

XV Международная молодежная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам, которая прошла 17-18 апреля 2020 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 250 представителей молодого поколения из вузов Российской Федерации, страны ближнего зарубежья. Работа конференции была организована в 20 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 2 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», «Метрология, стандартизация, сертификация», «Материаловедение и технология машиностроения».

Оргкомитет выражает искреннюю признательность участникам конференции, их научным руководителям за высокий уровень представленных статей. 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 XVI конференции по традиционной тематике аналогично планируется на вторую декаду апреля 2021 года. До новых встреч!

Директор центра  
фундаментального образования ПГТУ  
**С. Г. Кудрявцев**

УДК 51-32

Андреев Д. А.

Научный руководитель: Володина Е. В., канд. пед. наук, доцент  
*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

## ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ В КОНЕЧНЫХ МНОЖЕСТВАХ

*Аннотация.* Представлены формулы, упорядочивающие произвольные действительные числа в конечных множествах.

*Ключевые слова:* формула, резервирование, надёжность, число.

Рассмотрим произвольные действительные числа в конечных множествах. Удивительно, но формулы Min&Max есть только для двух чисел. При этом формулы применяются в таких прикладных теориях, как теория надежности различных систем, в частности в теории резервирования. Но проблема в том, что формул для нескольких чисел нет. Сейчас произвольные числа можно упорядочить только методом сравнения. Мы же будем это делать только при помощи арифметических действий и знака модуля, в чем и заключается научная новизна работы. Объектом нашего исследования будут действительные числа, а предметом – сам метод упорядочения произвольных действительных чисел в конечных множествах. Наша гипотеза следующая: предполагаем, что есть еще один, более выгодный и рациональный метод упорядочения действительных чисел.

В ходе работы мы будем применять такие методы, как: анализ, синтез и моделирование.

Целью работы является вывод формул, которые упорядочат произвольные действительные числа в конечных множествах.

Задачи:

1. изучить литературу для исследования Min&Max в действительных числах;
2. изучить практическую ценность и применение Min&Max в различных сферах жизни;
3. составить формулы, которые упорядочивают произвольные действительные числа в конечных множествах.

Актуальность состоит в том, что решение некоторых практически важных проблем в теории надежности различных систем связано с упо-

рядочением действительных чисел в конечных множествах. Данная работа найдет широкое применение в одном вопросе теории резервирования. Известно, что резервировать можно целое устройство, но можно осуществлять резервирование этого устройства по частям. Возникает вопрос, как же выгоднее поступить: резервировать целиком, по частям или же поэлементно? Для этого и пригодится Min&Max.

Теория надёжности изучает методы обеспечения стабильности работы объектов (конструкций, изделий, устройств, систем и т. п.) в процессе проектирования, производства, приёмки, транспортировки, эксплуатации и хранения.

Резервирование – универсальный принцип обеспечения надёжности, широко применяемый в природе, технике и технологии, впоследствии распространившийся и на другие стороны человеческой жизни.

Возьмем два произвольных действительных числа и расположим их в порядке возрастания. Известно, что

$$\min \{a; b\} = \frac{a + b - |a - b|}{2}, \quad (1)$$

$$\max \{a; b\} = \frac{a + b + |a - b|}{2}. \quad (2)$$

А теперь давайте разберёмся, как были выведены данные формулы. Это нам пригодится в последующем.

$$\begin{cases} s = a + b = \min + \max \\ rasst = |a - b| \end{cases}.$$

Зная, что одно из чисел – min, а другое – max, выразим max через min:

$$\max = \min + rasst = \min + |a - b|. \quad (3)$$

Подставим формулы (2) и (3) в (1):

$$\begin{aligned} s = a + b = \min + \min + |a - b| &\Leftrightarrow 2 \min = a + b - |a - b| \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \min &= \frac{a + b - |a - b|}{2}. \end{aligned}$$

Из (3) найдём

$$\max = \min + |a - b| = \frac{a + b - |a - b|}{2} + |a - b| = \frac{a + b + |a - b|}{2}.$$

Для составления программы нахождения минимума и максимума из  $n$  чисел, нам понадобятся формулы min&max двух чисел. Каждое новое число будет вставляться в формулу минимума и максимума предыдущего количества чисел.

В общем виде формулы будут выглядеть следующим образом:

$$\min_n = \frac{\min_{n-1} + a_n - |\min_{n-1} - a_n|}{2};$$

$$\max_n = \frac{\max_{n-1} + a_n + |\max_{n-1} - a_n|}{2}.$$

Преимущество такой программы в том, что нам не важен порядковый номер и значение минимального числа, не важно количество чисел, мы сами можем изменять этот параметр, что отражено в разработанной нами программе (скрин программы ниже).

```

Var
  array[1..1000] of real;
  i,i1,i2:integer;
  min,max:real;
Begin
  randomize;
  writeln('Введите количество чисел:');
  readln(i);
  writeln(' ');
  writeln(' ');
  For i:=1 to i do begin
    a[i]:=random;
    writeln('a',i,',',i:=' ',a[i]);
  End;
  min:=a[1];
  max:=a[1];
  For i:=2 to i do begin
    min:=(min+a[i]-abs(min-a[i]))/2;
    max:=(max+a[i]+abs(max-a[i]))/2;
  End;
  writeln('min=',min,', max=',max);
End.

```

```

Var
  array[1..1000] of real;
  i,i1,i2:integer;
  min,max:real;
Begin
  randomize;
  writeln('Введите количество чисел:');
  readln(i);
  writeln(' ');
  writeln(' ');
  For i:=1 to i do begin
    a[i]:=random (-0.0000,0.0000);
    writeln ('a',i,',',i:=' ',a[i]);
  End;
  min:=a[1];
  max:=a[1];
  For i:=2 to i do begin
    min:=(min+a[i]-abs(min-a[i]))/2;
    max:=(max+a[i]+abs(max-a[i]))/2;
  End;
  writeln('min=',min,', max=',max);
End.

```

Данная работа найдет свое применение в теории резервирования. В частности, основная теорема резервирования систем содержит Min&Max. Известно, что вся группа будет безотказно работать в течение времени:

$$T_1 = \max \left[ \min \{t_1(1); t_1(2)\}; \min \{t_1(1'); t_1(2')\} \right].$$

При резервировании поэлементно длительность жизни равна

$$T_2 = \min \left[ \max \{t_1; t_1'\}; \max \{t_2; t_2'\} \right].$$

Самый выгодный способ резервирования будет тот, чья длительность работоспособности будет больше. Результат работы заключается в том, что нами выведены формулы, записываемые только через арифметические операции.

Выведенные формулы могут использоваться в различных языках программирования для создания программ упорядочения произвольных действительных чисел. Данная работа найдет свое применение во всех технических сферах жизни человека, ведь в наше время главное не только надежность, но также и экономичность.

Бабина Д. В., Старегородцева Д. С., Кулагина С. В.  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕНТЫ МЁБИУСА И ЕЕ СВОЙСТВ: ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ КУРЬЕЗ ИЛИ УДИВИТЕЛЬНОЕ ОТКРЫТИЕ В МИРЕ НАУКИ**

***Аннотация.** Представлена информация о исследовании ленты Мебиуса и ее свойств.*

***Ключевые слова:** математика.*

Тема исследования листа Мёбиуса является актуальной, так как в последнее столетие большое влияние на ряд совершенно различных областей знания приобрела ветвь геометрии – топология. На основе этих секретов создано много полезных вещей и изобретений, поэтому изучение этих секретов просто необходимо. Сегодня в математическую жизнь вошла компьютерная геометрия, позволяющая представить сложные математические модели. Бумажное моделирование развивает умственные способности и пространственное воображение, т. к. на пальцах рук находится много нервных окончаний, влияющих на мозговую деятельность. И это полезно тем учащимся, у которых недостаточно развито пространственное воображение.

Таинственный и знаменитый лист Мёбиуса (иногда говорят: «лента Мёбиуса») придумал в 1858 г. немецкий геометр Август Фердинанд Мёбиус (1790-1868), ученик «короля математиков» Гаусса.

Мёбиус был первоначально астрономом, как Гаусс и многие другие из тех, кому математика была обязана своим развитием. В те времена занятия математикой не встречали поддержки, а астрономия давала достаточно денег, чтобы не думать о них, и оставляла время для собственных размышлений. И Мёбиус стал одним из крупнейших геометров XIX века. В возрасте 68 лет ему удалось сделать открытие поразительной красоты. Это открытие односторонних поверхностей, одна из которых – лист Мёбиуса.

Лист Мёбиуса – это простейшая односторонняя поверхность с краем. Попасть из одной точки этой поверхности в любую другую можно, не пересекая края. Всякая замкнутая поверхность, лежащая в трёхмерном пространстве, разделяет его на две части – ограниченную «внут-

ренность» и неограниченную «внешность», подобно тому, как замкнутая кривая разделяет плоскость на две части. Самое же удивительное, пожалуй, то, что я смогу её сделать своими руками, и это совсем несложно. Надо лишь взять полоску бумаги и для ясности обозначим углы с одной стороны ленты А и В, а с другой – С и D. Далее склеить её концы, предварительно повернув один из них на 180 градусов. И тогда в ваших руках окажется лист, или лента Мёбиуса.

Лист Мёбиуса – один из объектов области математики под названием «топология» (по-другому – «геометрия положения»). Удивительные свойства листа Мёбиуса: он имеет один край, одну сторону, не связаны с его положением в пространстве, с понятиями расстояния, угла и тем не менее имеют вполне геометрический характер. Изучением таких свойств занимается топология. В топологии изучаются свойства фигур и тел, которые не меняются при их непрерывных деформациях (как если бы они были сделаны из резины).

Основными свойствами ленты Мёбиуса являются:

1. односторонность. У листа Мёбиуса – всего одна сторона. Убедиться в односторонности листа Мёбиуса несложно: если начать постепенно окрашивать его в какой-нибудь цвет, начиная с любого места, и по завершении работы вы обнаружите, что весь он полностью окрашен.

2. непрерывность. На листе Мёбиуса любая точка может быть соединена с любой другой точкой, и при этом ни разу не придётся переползть через край «ленты». Разрывов нет – непрерывность полная. Если на внутреннюю сторону простого кольца посадить паука, а на внутреннюю сторону муху и разрешить им ползать, как угодно, запретив лишь переползть через края кольца, то паук не сможет добраться до мухи. А если их обоих посадить на лист Мёбиуса, то бедная муха будет съедена, если, конечно, паук бежит быстрее!

3. связность. Лист Мёбиуса двусвязен, т. е., если разрезать его вдоль, он превратится не в два отдельных кольца, а в одну целую ленту.

4. ориентированность – свойство, отсутствующее у листа Мёбиуса. Так, если бы человек смог пропутешествовать по всем изгибам листа Мёбиуса, то, когда он вернулся бы в исходную точку, он превратился в своё зеркальное отражение.

Уже сегодня удивительные свойства ленты Мёбиуса используются в самых различных изобретениях. Многие ученые в своих изобретениях использовали принцип ленты Мёбиуса.

В виде парадоксальной геометрической фигуры можно, оказывается, изготовить лопасти бетономешалки или обычного бытового миксера – энергозатраты снизятся на одну пятую, а качество бетона (или кондитерского крема) улучшится.

Представьте себе обыкновенную ленту, образующую кольцо. На наружную сторону ленты нанесён шлифовальный порошок. Ленту прижимают к изделию, прокручивают, идёт шлифовка. Через какое-то время стирается и сам шлифовальный слой на ленте. Приходится прерывать процесс, менять ленту. Как сделать, чтобы лента работала вдвое дольше, если размеры ленты увеличивать нельзя? Несколько лет назад изобретателю А. Губайдуллину было выдано авторское свидетельство на шлифовальное устройство с лентой Мёбиуса: размеры ленты увеличились вдвое.

Есть фильтры, в которых жидкость пропускают сквозь ленту из фильтрующего материала. Постепенно эта лента засоряется, приходится её менять. На фильтр с лентой Мёбиуса тоже выдано авторское свидетельство.

Есть авторское свидетельство и на магнитофон с лентой Мёбиуса. Магнитофонная пленка, соединенная таким образом, записывает звук на обеих сторонах. Магнитофон прокручивает пленку в виде ленты Мебиуса вдвое дольше, чем обычную.

Сколько людей приводили в восторг аттракционы «Американские горки». Лента Мебиуса вполне благополучно наблюдается в форме абразивных ремней для заточки инструмента, красящей ленты для печатающих устройств.

#### Литература

1. Мельников, О. И. Занимательные задачи по теории графов / О. И. Мельников. – М.: Удлов, 2012. – 689 с.
2. Татт, У. Теория графов: учеб. пособие / У. Татт. – М.: АСТ, 2013. – 229 с.
3. Уилсон, Р. Введение в теорию графов: учеб. пособие / Р. Уилсон. – М.: ЭлКниги, 2010. – 998 с.
4. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари – М.: Editorial Everest, 2010. – 634 с.

Блинова А. В., Салихова Л. М.

*Поволжский государственный технологический университет***ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы практического применения элементов теории вероятности для решения задач производства. Представлены примеры реализации формулы полной вероятности, формулы Бернулли.

**Ключевые слова:** вероятность, задачи производства, формула Бернулли, формула полной вероятности.

Теория вероятности – математическая наука, которая изучает математические модели случайных явлений, вычисляет вероятности наступления определенных событий. По классическому определению вероятность – отношение благоприятствующих исходов к количеству всех исходов.

$$p = \frac{m}{n}.$$

Испытания Бернулли – это независимые эксперименты с двумя исходами и с вероятностью успеха, не меняющиеся от испытания к испытанию. Если вероятность  $p$  наступления события в каждом испытании постоянна, то вероятность  $P_n(m)$  того, что событие  $A$  наступит  $m$  раз в  $n$  независимых испытаниях равна

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

Схема Бернулли применяется в решении таких задач, которые связаны с контролем свойств различной продукции и уверенности в самых разных механизмах.

Если событие  $A$  может произойти только при выполнении одного из событий  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , которые образуют полную группу несовместных событий, то вероятность события  $A$  вычисляется по формуле

$$P(A) = P(B_1)P(A \setminus B_1) + P(B_2)P(A \setminus B_2) + \dots + P(B_n)P(A \setminus B_n).$$

Эта формула называется формулой полной вероятности.

Вновь рассмотрим полную группу несовместных событий  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , вероятности появления которых  $P(B_1), P(B_2), \dots, P(B_n)$ . Событие  $A$  может произойти только вместе с каким-либо из событий  $B_1, B_2, \dots, B_n$ ,

которые будем называть гипотезами. Тогда по формуле полной вероятности

$$P(A) = P(B_1)P(A \setminus B_1) + P(B_2)P(A \setminus B_2) + \dots + P(B_n)P(A \setminus B_n).$$

Если событие  $A$  произошло, то это может изменить вероятности гипотез  $P(B_1), P(B_2), \dots, P(B_n)$ .

По теореме умножения вероятностей

$$P(AB_1) = P(B_1)P(A \setminus B_1) = P(A)P(B \setminus A).$$

Откуда

$$P(B_1 \setminus A) = \frac{P(B_1)P(A \setminus B_1)}{P(A)}.$$

Аналогично, для остальных гипотез

$$P(B_i \setminus A) = \frac{P(B_i)P(A \setminus B_i)}{P(A)},$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Полученная формула называется формулой Байеса (формулой Бейеса). Вероятности гипотез  $P(B_i|A)$  называются апостериорными вероятностями, тогда как  $P(B_i)$  – априорными вероятностями.

Рассмотрим задачи:

**Задача 1.** В партии, состоящей из 100 изделий, имеется 5 дефектных. Из партии выбираются для контроля 10 изделий. Найти вероятность того, что 2 изделия из них будут дефектными.

Решение: в этой партии вероятность получить дефектное изделие равняется  $p=0,05$ , а вероятность противоположного события  $q=0,95$ . Вероятность получить 2 дефектных изделия в контрольной партии из 10 найдем по формуле Бернулли:

$$P = C_n^m p^m q^{n-m} = \frac{10!}{2!8!} * 0,05^2 * 0,95^8 = 0,075.$$

Ответ: 0,075.

**Задача 2.** В партии из 25 изделий содержится 12 изделий первого сорта и 13 второго. Случайным образом выбираются 4 изделия. Найти вероятность того, что среди выбранных хотя бы одно изделие первого сорта.

Решение: пусть  $A$  – вероятность появления  $k1$  изделий, среди случайным образом выбранных  $k$ . Для вычисления вероятности  $A1$ , воспользуемся классическим определением вероятности:

$$P(A) = \frac{C_{n_1}^{k_1} C_{n_2}^{k_2}}{C_n^k}.$$

$$n = 25, n_1 = 12, n_2 = 13.$$

Найдем  $A_1$ , среди выбранных четырех изделий нет изделий первого сорта  $k_1 = 0, k_2 = 4, k = 4$ .

$$P(A_1) = \frac{C_{12}^0 C_{13}^4}{C_{25}^4} = \frac{12!}{0!2!} \cdot \frac{13!}{4!9!} = 0,0565.$$

Противоположное событие  $A_2$ , среди выбранных четырех изделий хотя бы 1 изделие первого сорта. Тогда

$$P(A_2) = 1 - P(A_1) = 1 - 0,0565 = 0,9435.$$

Ответ: 0,9435.

Таким образом, статистика направлена на решение практических задач, применяемых в реальной жизни, развиваются и обосновываются новые методы анализа статистических данных. Теория вероятностей и математическая статистика широко применяются во многих смежных науках, в частности, в производстве. Теория вероятностей лежит в основе математической статистики, которая позволяет планировать и прогнозировать процесс производства, анализировать технологические процессы, контролировать качества продукции и т. д.

#### Литература

1. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие для студентов вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд. – М.: Высшая школа, 2004. – 404 с.
2. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для студентов вузов / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1998. – 542 с.
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://mathprofi.net/nezavisimye\\_ispytaniya\\_i\\_formula\\_bernulli.html](https://mathprofi.net/nezavisimye_ispytaniya_i_formula_bernulli.html).
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.matburo.ru/tvbook\\_sub.php?p=par16](https://www.matburo.ru/tvbook_sub.php?p=par16).

Будкина И. М., Кораблев А. М.  
Научный руководитель: Мустафина С. С., ст. преп.  
Поволжский государственный технологический университет

## СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

***Аннотация.** Изучены различные системы счисления и приведены примеры их практического применения.*

***Ключевые слова:** системы счисления, представление чисел, применение систем счисления.*

Системой счисления называется метод представления чисел с помощью письменных знаков. Современные системы счисления делятся на непозиционные, позиционные и смешанные.

В непозиционных системах счисления величина символа не зависит от его положения в записи числа. Исторически такие системы возникли первыми. Для них характерна запись числа в виде суммы определенных значений. К таким системам счисления относятся, например, единичная, древнеегипетская, римская и другие.

Самая древняя единичная система основана на счете единицами. Число в единичной системе счисления представляет собой строку из палочек, количество которых равно значению данного числа. Позднее люди стали группировать палочки по группам, чаще по три или пять, и заменять их новым символом, что послужило предпосылкой к возникновению прообразов современных цифр.

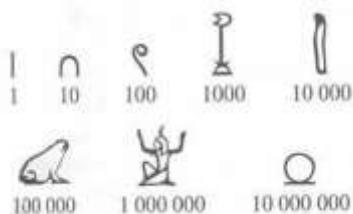
Римские обозначения чисел известны в наше время лучше, чем любая другая древняя система счисления. В ней для обозначения чисел используются латинские буквы:

1	5	10	50	100	500	1000
I	V	X	L	C	D	M

Число в римской системе счисления – это набор стоящих подряд цифр. Натуральные числа записываются при помощи их повторения. При этом если большая цифра стоит перед меньшей, то они складываются, если наоборот, то меньшая вычитается из большей. Некоторые из

цифр могут повторяться, но не более трех раз подряд. Кроме того, левая цифра может быть меньше правой максимум на один порядок.

Древние египтяне использовали свои собственные символы:



В Египте группировали символы по десять. Фиксированного направления записи чисел не существовало. Они могли записываться справа налево, слева направо и даже вертикально. В настоящее время эта система уже не используется.

Позиционные системы счисления – это системы счисления, в которых величина символа зависит от его положения в записи числа. Позиционная система счисления характеризуется своим *основанием* – количеством символов, которые могут использоваться для записи чисел. Основание системы записывается в виде нижнего индекса около числа. Наиболее часто употребляемыми позиционными системами являются двоичная, восьмеричная, десятичная, шестнадцатеричная и прочие.

В эру компьютеров двоичная система счисления является чуть ли не самой важной наряду с десятичной. В нее входят цифры 0 и 1, которые соответствуют двум основным состояниям: выключено и включено, ток есть и тока нет и т. п. Недостаток ее в том, что с увеличением числа быстро растет и количество разрядов: например, десятичное число 8 в двоичной системе выглядит как 1000, т. е. количество разрядов уже достигает четырех.

Числа в восьмеричной системе записываются с помощью цифр от 0 до 7. Второй разряд появляется только на числе  $8_{10} = 10_8$ , что дает преимущество перед двоичной системой.

Самая привычная для нас система счисления – десятичная. В ней используются арабские цифры от 0 до 9. В наше время в этой системе счисления производится подавляющее большинство всех математических расчетов. Она используется во всех сферах деятельности, связанных с математикой: физика, информатика, экономика и т. д.

В шестнадцатеричной системе для записи чисел используются шестнадцать символов: цифры от 0 до 9 и латинские буквы A, B, C, D, E, F (в десятичной системе соответствуют числам от 10 до 15).

Наиболее известным примером смешанной системы счисления является представление времени в виде количества суток, часов, минут и секунд. При этом величина « $d$  дней,  $h$  часов,  $m$  минут,  $s$  секунд» соответствует значению  $d \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 + h \cdot 60 \cdot 60 + m \cdot 60 + s$  секунд. Такой перевод времени в определенную величину часто используется при решении задач физики.

В настоящее время каждая из перечисленных систем счисления имеет свое применение. Единичная система, например, в связи со своей простотой используется для обучения детей счету. Римскую систему счисления в наши дни обычно можно встретить в написании порядковых номеров (I – первый, X – десятый и т. п.), что обычно практикуется историками для обозначения веков и различения правителей, носивших одно имя (например, Петр I и Петр III).

Двоичная система чаще всего применяется в организации работы компьютера, т. к. чем меньше значений существует в системе, тем проще изготовить отдельные элементы и тем выше устойчивость к помехам и скорость работы, что используется в электротехнике. Кроме того, на двоичной системе основана вся дискретная математика.

Восьмеричная система счисления в основном используется в программировании. Кроме того, это основная система счета в индейских языках юки и паме, первый из которых ныне считается мертвым, а носителями второго являются 10 тыс. человек.

Шестнадцатеричная система широко применяется в низкоуровневом программировании и ведении компьютерной документации. В Юникоде (стандарт кодирования символов) номер символа принято записывать в шестнадцатеричном виде, используя не менее четырех цифр. Кроме того, цвета на компьютерном мониторе также хранятся в памяти в виде шестнадцатеричных кодов.

Поскольку без математики в современном мире не обойтись, важно уметь пользоваться различными системами счисления и представлять числа в разных видах.

#### Литература

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Система\\_счисления](https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_счисления).
2. <https://www.calc.ru/Sistemy-Schisleniya-Nepozitsionnyye-Sistemy-Schisleniya.html>.
3. <https://www.calc.ru/Sistemy-Schisleniya-Osnovnyye-Ponyatiya.html>.
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Десятичная\\_система\\_счисления](https://ru.wikipedia.org/wiki/Десятичная_система_счисления).
5. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Шестнадцатеричная\\_система\\_счисления](https://ru.wikipedia.org/wiki/Шестнадцатеричная_система_счисления).
6. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Египетская\\_система\\_счисления](https://ru.wikipedia.org/wiki/Египетская_система_счисления).

Волкова Ю. А., Салихова Л. М.

*Поволжский государственный технологический университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ В ЭКОНОМИКЕ**

*Аннотация.* В статье рассмотрено использование дифференциальных исчислений в решении экономических задач.

*Ключевые слова:* дифференциальное исчисление, функции, экономика.

**Дифференциальное исчисление** – широко применяемый для экономического анализа математический аппарат. Базовой задачей экономического анализа является изучение экономических величин, записываемых в виде функций. Для решения экономических задач требуется построить функции связи входящих в них переменных, которые затем изучаются с помощью методов дифференциального исчисления.

В экономике очень часто требуется найти наилучшее или оптимальное значение того или иного показателя: наивысшую производительность труда, максимальную прибыль, максимальный выпуск продукции, минимальные издержки и т. д. Каждый показатель представляет собой функцию одного или нескольких аргументов. Например, выпуск можно рассматривать как функцию затрат труда и капитала. Таким образом, нахождение оптимального значения показателя сводится к нахождению экстремума (максимума или минимума) функции одной или нескольких переменных. Подобные задачи порождают класс экстремальных задач в экономике, решение которых требует использования методов дифференциального исчисления.

Дифференциальное исчисление применяется также в моделях экономической динамики. Динамические модели применяются для решения таких задач, как определение оптимальной или равновесной траектории развития экономической системы, ее состояний в заданные моменты времени, анализ системы на устойчивость, анализ структурных сдвигов и т. п.

**Задача 1.** Выбрать оптимальный объем производства фирмой, функция прибыли которой может быть смоделирована зависимостью

$$\pi(q) = R(q) - C(q) = q^2 - 8q + 10.$$

Решение:

$$\pi'(q) = R'(q) - C'(q) = 2q - 8 = 0,$$
$$q_{extr} = 4.$$

При  $q < q_{extr} = 4 \rightarrow \pi'(q) < 0$  прибыль убывает.

При  $q > q_{extr} = 4 \rightarrow \pi'(q) > 0$  прибыль возрастает.

При  $q_{extr} = 4$  прибыль принимает минимальное значение.

Каким же будет оптимальный объём выпуска для фирмы?

Если фирма не может производить за рассматриваемый период больше 8 единиц продукции ( $p(q=8) = p(q=0) = 10$ ), то оптимальным решением будет вообще ничего не производить, а получать доход от сдачи в аренду помещений и (или) оборудования. Если же фирма способна производить больше 8 единиц, то оптимальным для фирмы будет выпуск на пределе своих производственных мощностей.

**Задача 2.** Зависимость между издержками производства  $y$  (ден. ед.) и объёмом выпускаемой продукции  $x$  (ед.) выражается функцией

$$y = 50x - 0,05x^3.$$

Определить средние и предельные издержки при объёме продукции, равном 10 ед.

Решение:

Функция средних издержек выражается отношением

$$y_1 = \frac{y}{x} = 50 - 0,05x^2,$$
$$y_1(10) = 50 - 0,05 * 100 = 45(\text{ден.ед.})$$

Функция предельных издержек выражается производной

$$y'(x) = 50 - 0,15x^2,$$
$$y'(10) = 50 - 0,15 * 100 = 35(\text{ден.ед.}).$$

Итак, если средние издержки на производство единицы продукции составляют 45 ден. ед., то предельные издержки, т. е. дополнительные затраты на производство дополнительной единицы продукции при данном уровне производства, составляют 35 ден. ед.

Заключение. Таким образом, методы дифференциального исчисления позволяют не только решить различные экономические задачи, но и записать необходимые или достаточные условия оптимума в этих задачах, которые позволяют дать ответ на те или иные конкретные вопросы.

## Литература

1. Кудрявцев, Л. Д. Краткий курс математического анализа / Л. Д. Кудрявцев. – Т. 1. – М.: Наука, 2000.
2. Письменный, Д. Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс / Д. Т. Письменный. – 4-е изд. – М.: Айрис-пресс, 2006. – 608 с.
3. Аксенова, М. Д. Энциклопедия. Т.11. Математика. – М.: Аванта+, 1998.

УДК 512.5

Воробьева Е. Г.

Научный руководитель: Фищенко П. А., канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Поволжский государственный технологический университет*

### **АТТРАКТОРЫ В ТЕОРИИ ХАОСА**

***Аннотация.** Рассматривается отличие хаоса от детерминированного хаоса, раскрывается суть четырех аттракторов в теории хаоса.*

***Ключевые слова:** теория хаоса, аттракторы, детерминированный хаос.*

Теория хаоса – раздел математики, изучающий кажущееся случайным или очень сложное поведение детерминированных динамических систем. Динамическая система – это такая система, состояние которой меняется во времени в соответствии с фиксированными математическими правилами, связывающими будущее состояние системы с текущим. Такая система *детерминирована*, если эти правила не включают явным образом элемента случайности.

Глядя на письменный стол некоего профессора, мы, вероятно, решим, что на нем всё свалено в беспорядочную кучу. Однако сам профессор, не глядя, безошибочно находит нужный ему предмет. Следовательно, «беспорядок» становится «порядком», когда он становится понятным, где существует какая-то закономерность или последовательность.

Следует различать просто «хаос» и «детерминированный хаос». По логике вещей детерминированный хаос должен быть частным случаем хаоса, и в этом смысле следовало бы ввести три термина: общее понятие хаоса и как два его частных случая – детерминированный и недетерминированный хаос. Тогда недетерминированный хаос мог бы быть экви-

валентом беспорядка, а детерминированный хаос обозначал нечто качественно от него отличное.

Пусть некоторая исследуемая система изменяется в пространстве и времени, «движется». Конкретное состояние системы характеризуется *n* величинами, зависящими только от четырёх величин  $x_1, x_2, x_3, t$ . Тогда в четырёхмерном пространстве  $\Phi$  конкретному числовому набору значений  $\{x_1, x_2, x_3, t\}$  будет соответствовать точка. Таким образом, каждому конкретному состоянию исследуемой системы соответствует точка в пространстве  $\Phi$ . Изменяющейся исследуемой системе соответствует в пространстве  $\Phi$  линия, или какой-то геометрический объект, называемый аттрактором, а само «пространство  $\Phi$ » называется **фазовым пространством**.

**Аттрактор** (от англ. to attract – притягивать) – геометрическая структура в фазовом пространстве, характеризующая вид поведения системы по прошествии длительного времени.

Ученые, исследующие детерминированный хаос, обнаружили, что кажущиеся хаотичными, не подчиняющимися никаким законам процессы, в действительности, следуют скрытому порядку. Они открыли, что изменения исследуемых систем происходят в соответствии с тем, что они называют четырьмя аттракторами, которые помогают извлекать порядок из беспорядка. Они называются точечным аттрактором, циклическим аттрактором, аттрактором Торас и странным аттрактором.

*Точечный аттрактор* – это простейший способ привести порядок в хаос. Когда из бесконечного числа точек образуется линия в фазовом пространстве и переходу от точки к точке по этой линии соответствует изменение состояния системы, тогда появляется возможность среди хаоса предсказать, какие свойства исследуемая система потеряет и какие свойства приобретёт.

Характеристика *циклического аттрактора* – движение взад-вперед, подобно маятнику или циклическому магниту. Им характеризуется рынок зерна, заключенный в коридор, где цена движется вверх и вниз в течение года.

Третий вид аттрактора известен как *аттрактор Торас*. Он начинает сложную циркуляцию, которая повторяет себя по мере движения вперед. На этом уровне, предсказания носят более точный характер, а модели имеют тенденцию казаться более законченными. Графически он выглядит как баранка или тор. Он образуется из спиралевидных линий, кругами намотанных на кольцо или на окружность, и иногда возвраща-

ется сам к себе, завершая полный оборот. *Его основная характеристика – повторяющееся действие.*

*Странный аттрактор* или *аттрактор Лоренца* из четвертого измерения – самоорганизующий. То, что поверхностный взгляд воспринимается как абсолютный хаос, в котором не заметно никакого порядка, имеет определенный порядок, базирующийся на странном аттракторе, когда наблюдение ведется из четвертого измерения.

Формальное математическое определение звучит так: аттрактор – такое подмножество фазового пространства, что все траектории, стартовые не слишком далеко от него, стремятся к нему с течением времени. (Это одно из возможных определений понятия аттрактора, существуют и другие, не эквивалентные данному) [1,2].

Слово же «*странный*» здесь выступает в таком ключе: *аттрактор* как множество *не представим в виде кривой или поверхности, он имеет более сложную, фрактальную структуру.* Траектории аттрактора не замыкаются, а *малые отклонения постоянно накапливаются, причем экспоненциально* [3].

#### Вывод

Вместо традиционных X-Y графиков, ученые теперь могут *интерпретировать фазово-пространственные диаграммы*, которые вместо того, чтобы описывать точное положение какой-либо переменной в определенный момент времени, представляют *общее поведение системы.*

Настоящая работа выполнена с учетом методики организации НИРС и школьников [4].

#### Литература

1. Шустер, Г. Детерминированный хаос: введение / Г. Шустер; Перевод с англ. Ф. М. Израйлева и др.; Под ред. А. В. Гапонова-Грехова, М. И. Рабиновича. – М.: Мир, 1988. – 240 с.
2. Магницкий, Н. А. Новые методы хаотической динамики / Н. А. Магницкий, С. В. Сидоров. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 320 с.
3. Ghys, E. The Lorenz Attractor, a Paradigm for Chaos. 2010.
4. Фищенко, П. А. Некоторые методы научно-исследовательской работы школьников и студентов / П. А. Фищенко // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Социально-экономическая. – 2015. – № 3. – С. 82-85.

Козицын И. И., Салихова Л. М.  
*Поволжский государственный технологический университет*

## МАТЕМАТИКА И АСТРОНОМИЯ

*Аннотация. Применение теории вероятностей в астрономии.*

**Ключевые слова:** *метод наименьших квадратов, метод наибольшего правдоподобия, математическое ожидание, нормальное распределение.*

До начала XIX в. учёные не имели определённых правил для решения системы уравнений, в которой число неизвестных менее числа уравнений. До этого времени употреблялись частные приёмы, зависевшие от вида уравнений и от остроумия вычислителей, и потому разные вычислители, исходя из тех же данных наблюдений, приходили к различным выводам. А. М. Лежандру (1752-1833) и К. Ф. Гауссу (1777-1855) принадлежит первое применение к решению указанной системы уравнений теории вероятности, исходя из начал, аналогичных с началом арифметической середины, уже издавна и, так сказать, бессознательно применяемых к выводам результатов в простейшем случае многократных измерений. Этот способ распространён и усовершенствован дальнейшими изысканиями Лапласа, Энке, Бесселя, Ганзена и др. и получил название метода наименьших квадратов, потому что после подстановки в начальные уравнения неизвестных величин, выведенных этим способом, в правых частях уравнений получаются если и не нули, то небольшие величины, сумма квадратов которых оказывается меньшей, чем сумма квадратов подобных же остатков, после подстановки каких бы то ни было других значений неизвестных. Помимо этого, решение уравнений по способу наименьших квадратов даёт возможность выводить вероятные ошибки неизвестных, то есть даёт величины, по которым судят о степени точности выводов.

Звездная астрономия XX в., за исключением его последних десятилетий, имела дело почти исключительно с одномерными случайными величинами и одномерными распределениями. Но по мере развития средств вычислительной техники многомерный статистический анализ превратился из теоретического раздела математической статистики в мощный инструмент научных исследований, в средство извлечения максимальной информации из экспериментальных данных. Многомерные статистические методы проникли во все области знания, в том чис-

ле и в традиционно гуманитарные науки – социологию, психологию, лингвистику, статистику.

Специально для использования в астрономии был разработан известный «метод наименьших квадратов».

Метод наименьших квадратов – один из методов регрессионного анализа для оценки неизвестных величин по результатам измерений, содержащим случайные ошибки.

Главной задачей метода наименьших квадратов, стал расчет орбит комет, который приходилось производить по малому числу наблюдений. Понятно, что надежное определение типа орбиты (эллипс или гипербола) и точный расчет ее параметров является трудным, так как орбита наблюдается лишь на небольшом участке. Метод оказался эффективным, универсальным, и вызвал бурные споры о приоритете. Его стали использовать в геодезии и картографии. Сейчас, когда искусство ручных расчетов утрачено, трудно представить, что при составлении карт мирового океана в 1880-х годах в Англии методом наименьших квадратов была численно решена система, состоящая из примерно 6000 уравнений с несколькими сотнями неизвестных.

Метод наибольшего правдоподобия, основанный на подходах, предложенных Т. Байесом, активно развивал и пропагандировал Р. Фишер. Метод основывается на следующем положении: ищутся такие оценки, которые максимизируют величину правдоподобия  $L$  некоторой выборки.

Правдоподобием  $L$  выборки, содержащей  $n$  реализаций случайной величины  $X$ :  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , называется совместная плотность вероятности распределения  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Пусть  $L$  есть функция некоторого числа неизвестных параметров  $\Theta_1, \dots, \Theta_k$ . Тогда оценками максимального правдоподобия этих параметров называются оценки  $\Theta_1^{\sim}, \dots, \Theta_k^{\sim}$ , которые максимизируют величину  $L$ .

В случае независимых  $x_1, x_2, \dots, x_n$  совместная плотность распределения вероятностей есть произведение индивидуальных плотностей, таким образом получаем

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i).$$

Рассмотрим пример, когда случайная величина  $X$  распределена по нормальному закону. В этом случае для  $i$ -й реализации данной случайной величины плотность распределения вероятности есть нормальное распределение

$$f(x_i) = K \exp\left(\frac{(x_i - \langle x \rangle)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Функция правдоподобия при этом имеет вид

$$L = \prod_{i=1}^N f(x_i) = K^N \prod_{i=1}^N \exp\left(\frac{(x_i - \langle x \rangle)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Перейдем к более удобному на практике натуральному логарифму функции правдоподобия, опустив при этом постоянный коэффициент, который нам далее не понадобится, при этом получим

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \exp\left(\frac{(x_i - \langle x \rangle)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Потребуем, чтобы наши оценки доставляли максимум этой функции. В общем случае математически сложной функции поиск экстремума может быть осуществлен численными методами минимизации. Для поиска экстремума приравняем частные производные от логарифма функции правдоподобия по искомым параметрам нулю:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \langle x \rangle} = -2 \sum_{i=1}^N \left(\frac{(x_i - \langle x \rangle)^2}{2\sigma^2}\right).$$

Отсюда видно, что оценкой математического ожидания для нормального распределения служит арифметическое среднее

$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i.$$

#### Литература

1. Локтин, А. В. Методы звездной статистики: учеб. для вузов / А. В. Локтин. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 252 с.
2. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
3. Счастливый билет: сайт Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%82](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%82).

Колесникова А. С., Салихова Л. М.  
*Поволжский государственный технологический университет*

## РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ МЕТОДОМ ЭЙЛЕРА

*Аннотация.* Ознакомление со способом решения дифференциального уравнения методом Эйлера.

*Ключевые слова:* дифференциальное уравнение, шаг интегрирования, приближенное значение, ломаная Эйлера.

Уравнение, которое содержит производную функцию одной переменной, можно встретить в различных областях математики. Другими словами, любой физический случай, где рассматривается степень изменения одной переменной по отношению к другой переменной, описывается дифференциальным уравнением.

Решение обыкновенных дифференциальных уравнений (нелинейных) первого порядка с начальными данными (задача Коши) – классическая область применения численных методов. Встречается большое количество различных методов, возникших еще в домашинную эпоху и использующиеся по сей день в современных ЭВМ.

Метод Эйлера – простейший численный метод решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Данный метод впервые описал Леонард Эйлер в 1768 году в работе «Интегральное исчисление». Метод Эйлера является простым, одношаговым методом первого порядка точности.

Метод Эйлера, наиболее старый и очень известный метод численного интегрирования дифференциальных уравнений. Данный метод имеет довольно большую ошибку. Также он очень часто оказывается неустойчивым – маленькая начальная ошибка быстро увеличивается. Таким образом, чаще используют более точные методы, такие как: исправленный метод Эйлера и модифицированный метод Эйлера.

Решить дифференциальное уравнение

$$y' = f(x, y)$$

численным методом – это значит, что для заданной последовательности аргументов  $x_0, x_1, \dots, x_n$  и числа  $y_0$ , не определяя функцию  $y = F(x)$ , найти такие значения  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , что  $y_i = F(x_i)$  и  $F(x_0) = y_0$ .

Таким образом, численные методы позволяют вместо нахождения функции  $y = F(x)$  получить таблицу значений этой функции для заданной последовательности аргументов. Величина

$$h = x_k - x_{k-1}$$

называется *шагом интегрирования*.

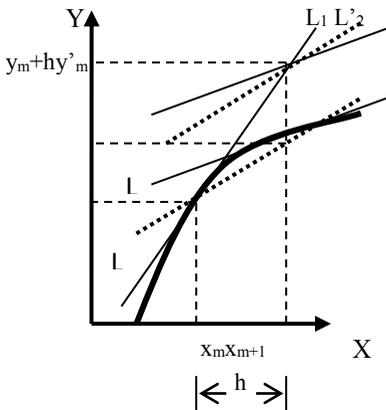
Метод Эйлера относится к численным методам, дающим решение в виде таблицы приближенных значений искомой функции  $y(x)$ . Он является сравнительно грубым и применяется в основном для ориентировочных расчетов. Однако идеи, положенные в основу метода Эйлера, являются исходными для ряда других методов.

Метод Эйлера легко распространяется на системы дифференциальных уравнений и на дифференциальные уравнения высших порядков. Последние должны быть предварительно приведены к системе дифференциальных уравнений первого порядка.

В исправленном методе Эйлера мы находим средний тангенс наклона касательной для двух точек:

$$x_m, y_m, x_m + h, y_m + hy'_m.$$

Последняя точка есть та самая, которая в простом методе обозначалась  $x_{m+1}, y_{m+1}$ . Геометрический процесс нахождения точки  $x_{m+1}, y_{m+1}$



можно проследить по рисунку. С помощью метода Эйлера находится точка  $x_m + h, y_m + hy'_m$ , лежащая на прямой  $L_1$ . В этой точке снова вычисляется тангенс угла наклона касательной, на рисунке этому значению соответствует прямая  $L_2$ . Усреднение двух тангенсов дает прямую  $L'_3$ . Наконец, через точку  $x_m, y_m$  мы проводим прямую  $L_3$ , параллельную  $L'_3$ . Точка, в которой прямая  $L_3$  пересечется с ординатой, вос-

становленной из

$$x = x_{m+1} = x_m + h$$

и будет искомой точкой

$$y = y_{m+1} = y_m + hy'_m.$$

Метод Эйлера являлся исторически первым методом численного решения задачи Коши. О. Коши использовал этот метод для доказательства существования решения задачи Коши. Ввиду невысокой точности и вычислительной неустойчивости для практического нахождения решений задачи Коши метод Эйлера применяется редко. Однако ввиду своей простоты метод Эйлера находит своё применение в теоретических исследованиях дифференциальных уравнений и ряда других математических проблем.

#### Литература

1. Самарский, А. А. Введение в численные методы / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1987. – 176 с.
2. Эйлер, Л. Интегральное исчисление. Том 1, раздел 2, гл. 7 / Л. Эйлер. – М.: ГИТТЛ, 1956. – 784 с.

УДК 519.2:001

Курбатов Д. А., Царегородцев В. В., Салихова Л. М.  
*Поволжский государственный технологический университет.*

### ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В НЕКОТОРЫХ СФЕРАХ ЖИЗНИ И НАУКИ

*Аннотация.* Данная статья предлагает ознакомиться с использованием такой науки, как теория вероятностей, в различных сферах нашей жизни.

*Ключевые слова:* теория вероятностей, математическое развлечение, вероятностные методы, частота.

Знание основ теории вероятностей помогает человеку сформировать правильное мировоззрение, для осознания того, что мы живем в случайном, вероятностном мире.

Теория вероятностей – это раздел математики, изучающий закономерности случайных явлений: случайные события, случайные величины, их свойства и операции над ними.

Мы должны понимать, что живем в мире, где происходят случайные события, и то, что закономерности пробиваются через массу случайностей. Чем сложнее система, тем труднее обнаружить закономерности. Именно в этих случаях и используют вероятностные методы. Таким образом, теория вероятности актуальна в наши дни как в математике и точных науках, так и в нашей повседневной жизни.

**Теория вероятностей в физике.** В квантовой физике вероятность теряет привычный нам смысл. В классической физике, например в термодинамике, мы используем вероятность в ее математическом определении, то есть в некотором смысле как частоту событий. Если мы подбрасываем монетку, то с вероятностью 0,5 она упадет одной стороной, с вероятностью 0,5 – Счастливым билет: сайт Википедия. – 2017 другой стороной. Конечно, мы при этом предполагаем, что монетка симметричная, вокруг нет ворон, а если они летают, то случаем, когда ворона унесла монетку, мы просто пренебрегаем. Считаем, что этот случай несущественный.

В квантовой механике такого подхода недостаточно. Все события описываются вероятностным образом, тем не менее эта вероятность существенно более условная, чем в обычном мире. Эта условность вычисляется с помощью квантовой интерференции. Вместо того чтобы использовать вероятность, мы используем амплитуду вероятности, и эти амплитуды имеют свойство складываться. Точно так же, как два пучка света могут свернуться в интерференционную картинку на экране, взаимодействие любых двух частиц происходит за счет сложения законов вероятностей.

**Теория вероятностей в биологии.** Математические методы, математические приемы исследования широко используются в биологии. Биологические проблемы стали решаться на основе принципов математики еще в XIX веке. Их решали математики, биофизики, биологи. Для биологии характерно обилие экспериментальных законов. Обработка биологических наблюдений всегда базировалась на теории вероятностей и математической статистике. В то же время, интересные проблемы математической статистики обзаны своим возникновением биологии.

Например, Мендель проделал 287 опытов с 10 000 растениями (горохом). Для эксперимента Мендель взял два сорта гороха, отличающихся по одному признаку: у одного семени были желтыми, а у другого – зелеными. Оказалось, что в первом гибридном поколении образовывались только желтые семена. В дальнейшем Мендель вырастил из семян первого гибридного поколения растения, провел их самоопыление и получил семена. Он их высеял и вырастил новые растения. Так Мендель получил растения второго поколения. Он обнаружил, что окраска семян у растений второго поколения различалась. Первый раз из 8023 семян оказалось 6022 желтых, а остальные зеленые. Найти частоту появления желтого гороха и частота появления зеленого гороха.

Для желтого:  $n=8023$ ,  $m=6022$ ,  $m/n=0,75$ .

Для зеленого:  $n=8023$ ,  $m=8023-6022=2001$ ,  $m/n=0,25$ .

Мендель проделывал этот эксперимент много раз. Частота получалась примерно одинаковой, для желтого гороха примерно 75% из 100%, для зеленого примерно 25%. При достаточно больших значениях  $n$  частоту принимают за вероятность события.

**Счастливый билет.** Счастливый билет-поверье и математическое развлечение, основанное на нумерологической игре с номером проездного билета.

Счастливым считается полученный в общественном транспорте билет, в шестизначном номере которого сумма первых трёх цифр совпадает с суммой трёх последних. Общее число шестизначных номеров, порождающих счастливые билеты, равно 55251 (55252, если учитывать билет с номером 000000), то есть в среднем примерно один билет из восемнадцати является счастливым. Также существует определение «счастливости», согласно которому совпадать должны не сами суммы, а их числовые корни (или, эквивалентно, остатки при делении на 9) – в таком случае счастливых билетов больше.

Игры с использованием счастливых билетов часто применяются в школе для обучения детей арифметике. Однако со счастливыми билетами связаны и более серьёзные математические задачи, поскольку последовательные номера билетов представляют собой числовую последовательность.

В ленинградском и московском методах в среднем один из восемнадцати билетов является счастливым. Однако билеты распределены неравномерно, и вероятность встретить счастливый билет сильно зависит от первых его цифр. Всего существует 55252 варианта билета, поэтому средняя вероятность его выпадения равна 0,0552 (5,52%).

Точное количество счастливых билетов, определяемых как равенство суммы заданных трёх цифр сумме трёх остальных (Московская и Ленинградская системы) можно посчитать по формуле:

$$C_{6,10} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \left( \frac{\sin 10x}{\sin x} \right)^6 dx ,$$

которая является частным случаем более общей формулы для нахождения количества  $2n$ -значных счастливых билетов в  $m$ -ричной системе счисления (в обычных счастливых билетах используется десятичная система счисления с  $m=10$ ):

$$C_{2n,m} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \left( \frac{\sin 10x}{\sin mx} \right)^{2n} dx .$$

## **8 интересных фактов о вероятностях, встречающихся в нашей жизни**

1. Вероятность того, что при игре в «орел-решка» монетка встанет на ребро, не так мала, как может показаться. Например, если вы совершите 1000000 бросков, то это случится около 150 раз, то есть в среднем 1 раз в 2 дня, если вы будете кидать целый год по 8 часов в день.

2. Шанс угадать 6 номеров лотереи из 45 равен «1 к 8145060». Теперь понимаете, почему не стоит тратить время и деньги на лотерею?

3. Вероятность того, что с первой попытки можно найти иголку в стоге сена – примерно 1 к 100 миллионам.

4. Вероятность того, что случайно возможно собрать разобранный кубик Рубика  $3 \times 3 \times 3$ . Любая конкретная расстановка имеет шанс оказаться правильной всего лишь «1 к  $4,32 \cdot 10^{19}$ », так что на сборку может потребоваться около 27 лет.

5. Вероятность совпадения отпечатков пальцев у двух случайных людей – 1 к  $10^6$ .

6. Во Вселенной не так уж много объектов: если просто случайным образом ткнуть в точку Вселенной, то вероятность того, что попадешь в какой-либо объект всего лишь «1 к  $10^{31}$ ».

7. Вероятность случайным образом напечатать оригинальный текст «Гамлета» равна приблизительно «1 к  $10^{183946}$ ». Это число в любом практическом смысле равно нулю.

8. Человек, вообще не умеющий играть в шахматы, имеет шанс выиграть у гроссмейстера примерно «1 к  $10^{100}$ ».

В заключение хотели бы сказать, что теория вероятностей затрагивает почти все области нашей жизни и играет в них немалую роль. Теория вероятностей – это интересная, но сложная наука, в которой нужно учитывать множество нюансов. С ее помощью можно рассчитывать исход той или иной ситуации, в которой оказался, а также выбрать лучший вариант исхода, что поможет уменьшить риски и увеличить продуктивность затраченной работы. Это несомненно дает преимущество человеку, который имеет представление о вероятностных процессах.

#### Литература

1. Вероятность в квантовой механике: сайт ПостНаука. – 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://postnauka.ru/video/72333>.

2. Как две капли воды. Ученые вычислили вероятность встретить двойника: сайт МИСИТКА В ЖИЗНИ. – 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mistika.temaretik.com/1622622526496836375/kak-dve-kapli-vody-uchenye-vychislili-veroyatnost-vstretit-dvojnika/>.

3. Счастливый билет: сайт Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%82](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%82).



Это означает, что строки матрицы  $\|g_{ij}\|$  линейно зависимы, т. е. как минимум одно из девяти условий (3) будет «излишним» потому, что является линейной комбинацией восьми остальных. С геометрической точки зрения, это означает, что одна из точек  $P_1, P_2, \dots, P_9$  «девятая точка» не дает никакой новой информации для определения коэффициентов  $b_1, \dots, b_9$ , а значит, и для определения кривой  $K$ .

Второе важное следствие равенства (4) состоит в том, что СЛУ (3) имеет бесконечное множество нетривиальных решений. Как известно, это множество (вместе с тривиальным решением) имеет структуру линейного пространства, размерность которого  $d = 9 - \text{rank} \|g_{ij}\|$ .

В том случае, если  $d = 1$ , все нетривиальные решения совпадают с точностью до линейного множителя, т. е. имеют вид  $Cb_1, Cb_2, \dots, Cb_9$  и таким образом условия (3) определяют единственную кривую (2).

В том случае, если  $d = 2$ , то общее решение СЛУ (3) имеет вид

$$\mathbf{b} = C_1 \mathbf{b}_1 + C_2 \mathbf{b}_2, \quad (6)$$

где  $\mathbf{b}_1 = (b_1^{(1)}, b_2^{(1)}, \dots, b_9^{(1)})$  и  $\mathbf{b}_2 = (b_1^{(2)}, b_2^{(2)}, \dots, b_9^{(2)})$  – линейно независимые нетривиальные решения СЛУ (3). Тогда через точки  $P_1, P_2, \dots, P_9$  проходит бесконечное множество (двухпараметрическое семейство) кубических кривых.

Заметим, что и в первом, и во втором случаях для определения кубической кривой (или семейства кубических кривых) достаточно лишь восьми из девяти заданных точек  $P_1, P_2, \dots, P_9$ .

Обратимся теперь к теореме о 9-ти точках. В статье [1] авторство этой теоремы приписывается М. Шалю, хотя в указанной там же работе Шаля [2] нам не удалось отыскать даже упоминания о кубических кривых. В той же статье [1] оспаривается авторство этой теоремы у Кэли и Бахарака. Поэтому мы приводим формулировку теоремы, не связывая её с именами этих выдающихся математиков.

*Пусть две кубические кривые  $K_1$  и  $K_2$  пересекаются в 9-ти различных точках, а третья кубическая кривая  $K$  проходит через какие-нибудь 8 из этих точек. Тогда  $K$  непременно пройдет и через девятую точку.*

Из условий теоремы ясно, что в ней рассматривается описанный выше случай  $d = 2$ , когда через 9 точек проходят не менее 2-х различных кубических кривых. Но, как было установлено выше, для описания всего семейства кубических кривых, проходящих через 9 точек, достаточно лишь восьми точек из этих девяти.

Рассматриваемая теорема в настоящее время оказалась весьма востребованной в эллиптической криптографии. Речь идет о частном случае теоремы, когда каждая из кубических кривых  $K_1$  и  $K_2$  является композицией 3-х прямых (рис. 1), т. е. её уравнение (1) имеет вид:

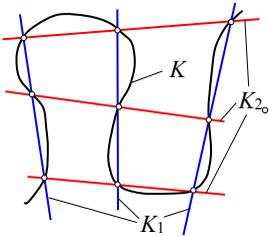


Рис. 1

$$(A_1x+B_1y+C_1)(A_2x+B_2y+C_2)(A_3x+B_3y+C_3) = 0.$$

В этом частном случае теорема принимает следующий вид. Если  $P_1, P_2, \dots, P_9$  – точки пересечения двух троек прямых и кубическая кривая проходит через восемь из этих точек, то она обязательно пройдет и через девятую.

В эллиптическом шифровании используют кубические кривые специального вида, т. н. эллиптические кривые, например,

$$y^2 = x^3 + ax + b, \text{ где } (a/3)^3 + (b/2)^2 \neq 0 \quad (7)$$

На множестве точек кривой (7), дополненном бесконечно удаленной точкой  $\Theta$  оси  $Y$ , можно ввести операцию сложения, пользуясь тем, что

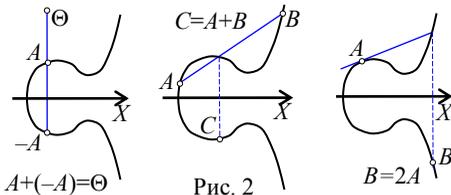


Рис. 2

прямая, пересекающая кубическую в двух точках (или касательная к ней), обязательно пересечет её ещё в одной точке. Правила такого сложения показаны на рис. 2.

Оказалось, что описанный выше частный случай

теоремы о девяти точках служит теоретическим обоснованием ассоциативности этой операции сложения. Как показано на рис. 3, теорема гарантирует, что точка  $E$  пересечения прямых  $AE$  и  $CE$  лежит на эллиптической кривой  $K$ , а значит  $(A+B)+C = A+(B+C)$ . Здесь считается, что обе вертикальные прямые и кривая  $K$  пересекаются в бесконечно удаленной точке.

Таким образом, множество точек эллиптической кривой превращается в коммутативную группу  $E(a,b)$  [3].

Следует добавить, что в криптографии рассматриваются кривые (7) над конечными полями, например,  $F_p$ , а в таком случае и группа  $E(a,b)$  точек кривой (7) также будет конечной.

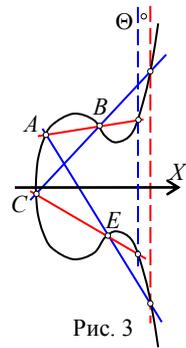


Рис. 3

### Литература

1. Eisenbud, D., Green, M., Harr, J. Cayley-Bacharach theorems and conjectures. – Bull.(New Series) of the American Math. Soc., V.33, N.3, July 1996.
2. Chasles, M. Trait'e des sections coniques, Gauthier-Villars, Paris, 1885.
3. Гашков, А. А. Элементарное введение в эллиптическую криптографию / А. А. Гашков. – М.: КомКнига, 2006. – 328 с.

Медведкова Е. А., Шалагина Ю. Д., Журавлев Е. А.  
Поволжский государственный технологический университет

## ПЕРЕВОД И АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЙЛЕРА «ИССЛЕДОВАНИЕ МНИМЫХ КОРНЕЙ УРАВНЕНИЙ»

**Аннотация.** *Выполнен перевод и анализ работы Л. Эйлера «Demonstration sur le nombre des points, ou deux lignes des ordres quelconques peuvent se couper» Берлинского периода его творчества. Работа посвящена вопросам алгебры и комплексного анализа и на русский язык переводится впервые.*

**Ключевые слова:** *Эйлер, Берлинская академия, приводимость многочленов, мнимые корни, функции комплексной переменной.*

Леонард Эйлер (1707-1783) – крупнейший математик XVIII века. Родился и получил образование в Швейцарии, 1727-1741 гг. работал в Петербургской Академии наук. После смерти императрицы Анны Иоанновны, когда Академия приходит в упадок и положение её служащих «...начало представляться неуверенным» [1], Эйлер был вынужден в 1741 г. перебраться в Берлин. В 1766 г. он по личному приглашению Екатерины II возвращается в Санкт-Петербург, где продолжает научную деятельность в Академии до своей кончины в 1783 г.

Представляемая здесь работа Эйлера была опубликована в трудах Берлинской академии наук в 1751 г. на французском языке [2] под названием «Исследование мнимых корней уравнений». В электронном архиве работ Эйлера размещен оригинал статьи, и её перевод на английский язык [3]. Наш перевод был выполнен с этой англоязычной версии и в настоящее время находится в свободном доступе на корпоративном диске ПГТУ О:\кафПМиИТ\НИРС\перевод\_E170. Работа переведена и опубликована на русском языке впервые.

Терминология и символика работы не отличаются от современных, за исключением использования термина «мнимый (imaginaire)» в смысле «комплексный» и записи квадратов  $x^2$  в виде произведений  $xx$ . Эйлер, говоря о «разложении на множители уравнения», имеет в виду многочлен в его левой части, хотя термин «многочлен» в его работе не используется.

Во вводной части работы (п.п. 1-8) Эйлер определяет объект исследования – алгебраическое уравнение

$$x^n + Ax^{n-1} + Bx^{n-2} + Cx^{n-3} + Dx^{n-4} + \dots = 0 \quad (1)$$

с действительными коэффициентами  $A, B, C, D, \dots$ . Затем перечисляет уже известные результаты: выделение линейных множителей, соответствующих корням уравнения (1), наличие четного числа комплексных корней многочлена и разбиение их на пары взаимно-сопряженных. В п. 8 формулируется цель работы: доказать, что «...каждое уравнение, которое не может быть разложено на простые [линейные] действительные множители, всегда разложимо на действительные множители второй степени». Говоря современным языком, речь идет о доказательстве приводимости многочленов степени выше второй над полем действительных чисел.

В п.п. 9-18 Эйлер приводит примеры разложения на 2 действительных квадратичных множителя левых частей уравнения 4-й степени частного вида  $x^4 + ax^3 + bx^2 + ax + 1 = 0$ , особо подчеркивая, что это удастся даже в том случае, когда это уравнение не имеет вещественных корней. После этого в п. 19 формулируется основная задача исследования: «показать, что каждое уравнение четной степени  $2m$  разложимо на  $m$  действительных множителей вида  $x^2 + px + q$ , а нечетной степени  $2m + 1$  на один простой [линейный] и  $m$  квадратичных».

В п.п. 20-26 дается формулировка и доказательства теорем о действительных корнях многочленов:

А) степень многочлена и количество его действительных корней имеют одинаковую четность,

Б) при четной степени и наличии отрицательного свободного члена имеются два действительных корня противоположных знаков.

Доказательства Эйлера используют «очевидные» топологические свойства непрерывных кривых, описываемых многочленами, т. е. они не являются чисто алгебраическими [4].

В п.п. 25-33 Эйлер демонстрирует основную идею своего доказательства разложимости на квадратичные множители многочлена четной степени на примере произвольного уравнения 4-й степени

$$x^4 + Ax^3 + Bx^2 + Cx + D = 0. \quad (2)$$

Ввиду их принципиальной важности, рассмотрим эти рассуждения в деталях. Сначала Эйлер предлагает избавиться в (2) от второго члена  $Ax^3$  с помощью замены  $x = y - 1/2$ . Редуцированное таким способом уравнение (2) принимает вид

$$x^4 + Bx^2 + Cx + D = 0 \quad (3)$$

и может быть представлено в виде произведения

$$(x^2 + ux + \alpha)(x^2 - ux + \beta) = 0. \quad (4)$$

Приравняв коэффициенты при одинаковых степенях  $x$  в (3) и в (4), получим 3 уравнения с неизвестными  $u, \alpha, \beta$ , а после исключения  $\alpha$  и  $\beta$  – одно алгебраическое уравнение для коэффициента  $u$ .

Если  $a, b, c, d$  – корни уравнения (3), то (из формул Виета) очевидно, что  $a+b+c+d = 0$ , а коэффициент  $u$  в (4) является суммой двух из этих четырех корней, а потому может принимать  $C_4^2 = 6$  различных значений:  $a+b, a+c, a+d, c+d, b+d, b+c$ . Если  $p, q, r$  – первые 3 из этих 6-ти значений, то остальные три, с учетом формы разложения (4), должны быть  $-p, -q, -r$ . Поэтому алгебраическое уравнение, которое обеспечивает для  $u$  все эти 6 значений должно иметь вид

$$(u - p)(u - q)(u - r)(u + p)(u + q)(u + r) = 0,$$

или

$$(u^2 - p^2)(u^2 - q^2)(u^2 - r^2) = 0. \quad (5)$$

Заметив, что уравнение (5) имеет четную степень и отрицательный свободный член  $-p^2q^2r^2$ , Эйлер, на основании теоремы Б, делает вывод о существовании действительного значения (и даже двух) для коэффициента  $u$ , а следовательно, для  $\alpha$  и  $\beta$ . Это завершает доказательство существования разложения (3) с действительными коэффициентами.

В последующих п.п. 34-58, используя рассуждения подобного рода, Эйлер устанавливает разложимость:

- многочлена степени  $2^n$  на два действительных множителя степени  $2^{n-1}$ ;

- многочлена степени  $(4n-2)$  на множители, один из которых – действительный 2-ой степени;

- многочлена степени  $(8n+4)$  на множители, один из которых – действительный 4-ой степени.

В п. 59 Эйлер, на основании утверждений п.п. 20-58, показывает возможность разложения на действительные множители степени не выше второй для многочлена произвольной степени.

В п.п. 60-69 обосновывается, говоря современным языком, алгебраическая замкнутость множества комплексных чисел, представляемых в форме  $a + bi$ . В остальной части работы п.п. 70-90 демонстрируется возможность выполнения над «мнимыми величинами трансцендентных операций» – возведение в степень с действительным или мнимым показателем, вычисление логарифма и значений тригонометрических функций мнимого аргумента. Здесь же представлен вывод известной формулы Эйлера, связывающей показательную и тригонометрическую формы представления комплексного числа.

#### Литература

1. Эйлер, Леонард: Материал из Википедии – свободной энциклопедии [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%B9%D0%BB%D0%B5%D1%80\\_%D0%9B%D0%B5%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%B4](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%B9%D0%BB%D0%B5%D1%80_%D0%9B%D0%B5%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%B4).

2. Euler L. Recherches sur les racines imaginaires des équations //Mémoires de l'académie des sciences de Berlin, 1751.- v.5, pp. 222-288.

3. The Euler Archive, E170 «Research on the imaginary roots of equations» (англ. перевод Todd Doucet)  
<http://eulerarchive.maa.org/docs/translations/E170en.pdf>.

4. Тихомиров, В. М. Десять доказательств основной теоремы алгебры / В. М. Тихомиров, В. В. Успенский // Математическое просвещение. – 1997. – Вып. 1. – С. 50-70.

УДК 519.212.2.

Пантелеева В. С.

Научный руководитель: Фищенко П. А., канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Поволжский государственный технологический университет*

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В СЕЛЕКЦИИ И ГЕНЕТИКЕ

***Аннотация.** В данной работе изучается применение теории вероятностей в селекции, генетике и биологии.*

***Ключевые слова:** теория вероятностей, случайные события, вероятность, генетика, биология, селекция, наследственность.*

В биологии и генетике применяются методы теории вероятностей. Она изучает случайные события и действия над ними. Случайное событие – это результат опыта, эксперимента, испытания. В теории вероятностей рассматривают случайные события, являющиеся результатами опыта, который можно повторять большое число раз при практически неизменных условиях. Например, Мендель проделал 287 опытов с 10000 растений (горохом).

Законы, опубликованные в работе «Опыты с гибридами растений» в 1866 году, не получили широкой огласки, и работа была забыта. Для эксперимента Мендель взял два сорта гороха, отличающихся по одному признаку: у одного – семена были желтыми, а у другого – зелеными. Оказалось, что в первом гибридном поколении образовывались только желтые семена. В дальнейшем Мендель вырастил из семян первого гибридного поколения растения, провел их самоопыление и получил семена. Высеяв и вырастив эти семена, Мендель получил растения второго поколения. Выяснилось, что окраска семян у растений второго поко-

ления различалась. Первый раз из 8023 семян оказалось 6022 желтых, а остальные зеленые. Рассмотрим одну из задач в селекции. [2]

**Найти частоту появления желтого гороха и частоту появления зеленого гороха.**

$$\text{Для желтого: } m=6022 \text{ } n=8023, \frac{m}{n} = \frac{6022}{8023} = 0,75 .$$

$$\text{Для зеленого: } n=8023, m=8023-6022=2001, \frac{m}{n} = \frac{2001}{8023} = 0,25 .$$

Многочисленные эксперименты показали, что частота получалась примерно одинаковой, для желтого гороха примерно  $\frac{3}{4} = 75\%$ , для зеленого примерно  $\frac{1}{4} = 25\%$ .

Выполняется «свойство статистической устойчивости», когда частота появления события остается приблизительно постоянной. В этом случае можно применять теорию вероятностей. И относительную частоту принимают как вероятность, найденную статистически. [1].

Первая закономерность исследования, обнаруженная Менделем, – наличие одинакового фенотипа и наследование *признака одного из родителей* гибридами второго поколения. Этот признак Мендель назвал *доминантным*. Признак другого родителя, не проявившийся у гибридов, был назван *рецессивным*. Открытая закономерность получила названия **I закона Менделя, или закона единообразия гибридов I-го поколения**. Анализ второго поколения выявил вторую закономерность: расщепление гибридов на два фенотипических класса (с доминантным и рецессивным признаком) в определенных числовых отношениях. Подсчитав количество особей в каждом фенотипическом классе, Мендель установил, что расщепление в моногибридном скрещивании соответствует соотношению (формуле) 3 : 1 (на три растения с доминантным признаком, одно – с рецессивным). Эта закономерность получила название **II закона Менделя, или закона расщепления**. Открытые закономерности проявлялись при анализе всех признаков, вследствие чего обосновался вывод об их универсальности. При самоопылении гибридов F2 Мендель получил следующие результаты. Растения с белыми цветами давали потомство только с белыми цветками. Лишь третья часть растений с красными цветками давала единообразное потомство. Остальные расщеплялись в отношении красной и белой окраски в соотношении 3 : 1. [2].

Правило сложения гласит, чтобы узнать вероятность реализации либо одного, либо другого события, то вероятности каждого из этих собы-

тий складываются. Так, если нас будет интересовать вероятность гомозиготного потомства в браке гетерозиготных родителей, то надо сложить вероятности рецессивных и доминантных гомозигот.

Рассмотрим применение теории вероятностей в одной из задач генетического анализа.

Правило умножения вероятностей гласит, что вероятность совместного осуществления двух или большего числа независимых событий равна произведению вероятностей каждого из отдельно взятых событий. Произведя несложные вычисления, частоту появления каждого из генотипических классов в F2 можно записать в виде формулы:

$$\frac{1}{4} AA + \left(\frac{1}{4} Aa + \frac{1}{4} Aa\right) + \frac{1}{4} aa = \frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa + \frac{1}{4} aa.$$

Соответственно, частота появления различных фенотипических классов будет равна:  $\left(\frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa\right) + \frac{1}{4} aa = \frac{3}{4} A - + \frac{1}{4} aa$ . Этот метод используется в генетике при вычислении вероятности проявления того или иного класса потомства, в том числе генетике человека при изучении характера наследования определенного признака в случае наследственного заболевания. [3].

Несмотря на то, что генетический анализ у человека имеет свои особенности (малочисленность потомства, невозможность проводить скрещивания, продолжительность генерации и др.), было установлено, что значительная часть признаков у людей передаются потомству, согласно законам Г. Менделя. Таким образом, мы видим прямую связь таких великих наук, как математика и биология. На основе знаний о теории вероятностей Г. Мендель открыл закономерности в генетике и селекции. Открытые в биологии закономерности позволяют рассчитать вероятность появления внешних признаков растений, а в генетике найти вероятность проявления некоторых болезней у потомства.

#### Литература

1. Тарасов, Л. В. Мир, построенный на вероятности: Кн. для учащихся / Л. В. Тарасов. – М.: Просвещение, 1984. – 191 с.
2. Коренева, Л. Г. Генетика и математика / Л. Г. Коренева // Математика и естествознание. – М.: Просвещение, 1979. – С. 326.
3. Законы Менделя в медицине. Аутосомно-доминантное наследование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dommedika.com/68.html>.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://allbiolog.ucoz.ru/index/zadachi\\_po\\_genetike\\_s\\_resheniem/0-34](http://allbiolog.ucoz.ru/index/zadachi_po_genetike_s_resheniem/0-34).

Пименов Г. А., Салихова Л. М.

*Поволжский государственный технологический университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В МЕДИЦИНЕ**

***Аннотация.** Особенности применения теории вероятностей в клинической практике врача исходя, из того, что единицей изучения является человек – живой организм, динамическая многогранная структура, которую нельзя полностью описать с помощью «типичной» модели, как в точных науках.*

***Ключевые слова:** медицина, применение теории вероятностей в медицине, теория вероятности в практике врача.*

Медицина – это наука, целиком направленная на оказание помощи людям. Главные персонажи здесь – это врач и больной, весь смысл первого из которых заключается в том, чтобы облегчить страдания больного. Хотя медицинские познания и способности врача составляют важнейший фактор, определяющий результаты лечения, они тесно связаны с широким кругом других видов человеческой деятельности – с рядом теоретических и прикладных наук, техникой, экономикой, социологией, а также с решением юридических, моральных и этических проблем.

Теория вероятностей главным образом применяется для обработки результатов экспериментов. Математические методы применяют для описания биомедицинских процессов. Эти методы предназначены для выявления закономерностей, свойственных биомедицинским объектам, поиска сходства и различий между отдельными группами объектов, оценки влияния на них разнообразных внешних факторов и т. п. На основе определенной гипотезы о типе распределения изучаемых данных в серии наблюдений и использования соответствующего математического аппарата с той или иной достоверностью устанавливаются свойства биомедицинских объектов, делаются практические выводы, даются рекомендации.

Широкое применение статистических методов в медицине началось сравнительно недавно (вторая половина XX века). Развитие эффективных методов лечения (антибиотики, инсулин, эффективная анестезия, искусственное кровообращение) потребовало достоверных методов оценки их эффективности. Возникло новое понятие «Доказательная ме-

дицина». Начал развиваться более формальный, количественный подход к терапии многих заболеваний – введение протоколов.

С помощью математической модели выводятся следствия и прогнозы, справедливость ее проверяется по соответствующим наблюдениям и в случае необходимости в модель вносятся изменения.

**Пример задачи** в медицине рассмотрим на задаче о наследовании по двум признакам. Предположим, что оба исследуемых гена имеют только два аллеля. Обозначим их через  $A$  и  $a$  для первого гена и  $B$  и  $b$  для второго. Предположим сначала, что исследуемые гены содержатся в одной хромосоме. Тогда неспаренная хромосома может быть одного из четырех видов –  $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$  или  $ab$ . Эти хромосомы образуются в процессе мейоза, и их вид и число зависят от вида скрещиваемых генотипов родителей, от типа расхождения хромосом при мейозе, от возможного кроссинговера, при котором хромосомы обмениваются участками перед расхождением, и от других причин. Не вдаваясь сейчас в анализ этих сложных процессов, предположим, что все четыре указанных варианта хромосом равновозможны. Как обычно, предположим, что и все возможные парные сочетания этих хромосом также равновозможны. Можно образовать 16 таких сочетаний. Помещая на первом месте генный набор отца, будем иметь  $(AB)(AB)$ ,  $(AB)(Ab)$  и т. д. Поместим все 16 дву-генных генотипов в таблицу, строки которой соответствуют генным наборам отца, столбцы – генным наборам матери, а на пересечении строк и столбцов будет указан генотип, который получается при объединении родительских хромосом. В такой записи на нечетных местах будут стоять гены, пришедшие от отца, а на четных – от матери. Если признаки связаны с полом, то все эти генотипы различны. Если же связи с полом нет, то генотип определяется лишь количеством тех или иных аллелей, входящих в него. Поэтому генотипы, стоящие на симметричных местах относительно главной диагонали, совпадают, т. е.  $(Ab)(AB) = (AB)(Ab)$ ,  $(aB)(Ab) = (Ab)(aB)$ .

Таблица

Генотипы отца	Генотипы матери			
	$AB$	$Ab$	$aB$	$ab$
$AB$	$(AB)(AB)$	$(AB)(Ab)$	$(AB)(aB)$	$(AB)(ab)$
$Ab$	$(Ab)(AB)$	$(Ab)(Ab)$	$(Ab)(aB)$	$(Ab)(ab)$
$aB$	$(aB)(AB)$	$(aB)(Ab)$	$(aB)(aB)$	$(aB)(ab)$
$ab$	$(ab)(AB)$	$(ab)(Ab)$	$(ab)(aB)$	$(ab)(ab)$

Пользуясь таблицей и классическим определением вероятности событий, легко найти интересующие нас вероятности, например, вероятность унаследования от отца генного набора  $AB$  будет равна  $P((AB)(*)) = 4/16 = 0,25$ , где 4 есть число благоприятствующих нашему событию исходов (число генотипов в первой строке), 16 есть число всех двугенных генотипов в таблице, \* означает любой двугенный генотип матери, или, вероятность унаследования гена  $a$  от матери равна  $P((*)(aB) \text{ или } (ab))) = 8/16 = 0,5$ , где 8 есть число благоприятствующих нашему событию исходов.

Теория вероятностей всегда присутствует в повседневной практике врача. Он пользуется статистическими данными, заключениями, предписаниями – всё это является производными доказательной медицины, в основе которой лежит доказательная база, полагающаяся на теорию вероятностей. При постановке диагноза врач на основании предикторов всегда делает прогноз, на основании ограниченного количества данных, что является вероятностью и может быть обоснованно теорией вероятности. Так, для проведения доказательства эффективности проведённых диагностических и лечебных назначений нужно провести обоснование на статистических основах. Таким образом, каждый врач-лечебник в своей клинической практике встречается с теорией вероятностей.

Закключение. Теория вероятностей является одной из основных составляющих медицинской статистики, так любое статическое исследование использует как основу теорию вероятностей в описательной статистике, методах сравнительной статистики, методах оценки связи между переменными. А и её применение в практике врача – это, фактически вся диагностическая и лечебная работа врача.

#### Литература

1. Ремизов, А. Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А. Н. Ремизов. – 4-е изд., испр., и перераб. – М.: ГЭОТАР, 2012. – 648 с.
2. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

Речкина А. Е., Салихова Л. М.  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРИ ПРОГНОЗЕ ПОГОДЫ**

***Аннотация.** Применение теории вероятности в метеорологических предсказаниях.*

***Ключевые слова:** погода, применение теории вероятности в предсказании погоды, предсказание погоды, метеорология.*

Погода – это то, что человек до сих пор не смог подчинить себе. Циклоны и массы воздуха перемещаются по поверхности планеты вне зависимости от границ. Поэтому даже самая современная метеослужба одной страны не сможет составить прогноз погоды без помощи метеослужб других стран.

По всему миру разбросаны тысячи станций, где ежедневно проводятся наблюдения за погодой. Каждый день в одно и то же время по Гринвичу все метеостанции мира проводят измерения температуры, влажности воздуха, скорости ветра, атмосферного давления, количества осадков и степени облачности. Шары-зонды и искусственные спутники Земли помогают получать данные о состоянии верхних слоев атмосферы и делают фотографии поверхности планеты из космоса. Эта информация стекается в главные мировые центры данных в Москве, Вашингтоне и Мельбурне, которые обмениваются информацией между собой. Данные о погоде, собранные со всего мира, позволяют определить перемещение воздушных масс и рассчитать их скорость.

Вся полученная информация попадает в службы погоды, где синоптики сопоставляют, анализируют и наносят результаты на карты. Дальнейшая задача метеорологов – максимально оперативно передать данные о погоде средствам массовой информации. Ведь синоптики обязаны вовремя предупредить о приближающемся урагане или наводнении, сильном ливне или снегопаде. Гидрометцентр уточняет и корректирует прогнозы погоды по несколько раз в день. И если, например, прогноз по телевизору не сбывлся, то скорее всего, в эфир выдали устаревшую информацию.

Точно погоду можно предсказать только на два-три дня вперед. Дальше точность значительно снижается. Долгосрочные прогнозы приблизительны и составляются по статистическим данным за прошлые годы.

Как же понимать выражение «вероятность дождя 30%»? Может быть, дождь завтра будет идти в течение 30% времени? Или прольется на 30% территории региона? Или 30% экспертов предсказали дождь на завтра? А может быть, собрали данные о завтрашней дате за последние 100 лет и в 30% случаев был дождь? Все не так.

Эта история связана с большой современной математикой – с теорией хаоса. Теория хаоса работает со сложными системами (вроде атмосферы), которые очень зависят от начальных условий. Эти системы неустойчивы и даже небольшие изменения в начальных данных приводят к непредсказуемым последствиям. Поведение атмосферы детерминировано – мы знаем законы, которым она подчиняется. Но оно очень неустойчиво; именно это имеют в виду, когда говорят об «эффекте крыла бабочки». Даже малейшее изменение (взмах крыла бабочки) в начальных условиях драматически меняет результат – поведение системы непредсказуемо.

Существует довольно простая формула математика прошлого Томаса Байеса, опубликованная впервые в 1763 году в его посмертной работе «Опыт решения одной проблемы теории вероятностей». В ней впервые был поставлен вопрос о том, как может быть использована теория вероятностей для составления того или иного суждения о явлении, располагая лишь ограниченным рядом наблюдений.

Одна из формул, выведенных Байесом, и прогнозирует погоду. Если какое-то событие произошло несколько раз, то можно высчитать, какова вероятность его свершения и в следующий раз. Формула очень простая:  $p = (q+1) / (q+2)$  (вероятность равна дроби, числитель которой равен числу происшедших событий плюс единица, а знаменатель равен этому же числу плюс два).

Значит, если дождь идет один день, то вероятность, что он будет идти завтра, равна 2/3, если дождь идет два дня, то на завтра вы можете ждать такой же погоды с вероятностью 3/4, три дня – 4/5, ..., восемь дней – 9/10. Просто, не правда ли?

Но если бездумно применять эту формулу, то можно прийти к абсурду. Например, я два раза набирал по телефону 01, вызывая пожарную команду, и она приезжала: значит, если я буду вызывать ее третий раз, то она прибудет тушить пожар с вероятностью в 0,75. Конечно,

нет. Но при чем здесь наша простая формула? Прочитав внимательно работу этого превосходного математика, мы увидим, что формула введена в предположении, что о вероятности единичного события нам неизвестно ровно ничего, то есть что эта вероятность может быть любой – от 0 до 1.

Итак, формулу Байеса следует применять в том случае, когда мы ровно ничего не знаем о единичном событии. Так ли обстоит дело с дождливой погодой?

На основании многолетних наблюдений в городе Брюсселе установлено, что если дождь идет 1 день, то вероятность того, что он будет идти и завтра, равняется 0,63; если дождь идет 2 дня – его вероятность на завтра равна 0,68, 3 дня – 0,70, 5 дней – 0,73. Согласно же формуле Байеса, мы должны были бы иметь 0,66; 0,75; 0,80 и 0,86. Хотя опыт и теория близки, полного совпадения нет: формула оказывается несколько более пессимистична, чем реальная действительность.

Лучше совпадают с выводами теоремы Байеса данные, полученные при наблюдении смены температуры. По данным того же города Брюсселя, вероятность того, что завтра температура будет такой же, как и вчера, равна 0,75; если 2 дня температура была неизменной, то она останется такой же и завтра с вероятностью 0,76; если 3 дня неизменна, то сохранится и завтра с вероятностью 0,78; если 5 дней, то с вероятностью 0,83, и если температура не менялась 10 дней, то с вероятностью 0,85 она останется той же и в 11-й день.

Как видите, предсказание по принципу «сегодня как вчера» имеет обоснование в теории вероятности. Большинство прогнозов погоды носит именно такой характер, а, чтобы судить о научной мощи предсказаний, надо было бы скидывать со счетов все прогнозы типа «погода останется без изменений». Кажется, так метеорологи и поступают, когда испытывают новые теории и схемы предсказания погоды. Предвидение потепления или похолодания – вот в чем должно проявиться понимание законов климата.

Оперативное предсказание погоды на основе математической модели стало возможным с появлением производительных компьютеров. Но современным метеорологическим службам для точного расчета прогнозов требуются особенные, мощнейшие вычислительные комплексы – кластеры, использующие суперкомпьютерные технологии. Только несколько стран имеют достаточно производительные системы для того, чтобы самостоятельно проводить метеорологические расчеты, и весьма приятно, что одна из этих стран – Россия. Два года назад в вычисли-

тельном центре Росгидромета в Москве был установлен кластер производительностью 27 ТФЛОПС (триллионов операций в секунду). С его помощью метеорологи получили возможность решать такие сложные задачи, о которых раньше не могло быть и речи.

Заключение. Теория вероятностей – это основная составляющая прогнозирования погоды. С помощью формул и статистики можно достаточно точно предсказать погоду на ближайшие дни и даже на какой-то достаточно большой промежуток времени. Но так как погода – вещь непредсказуемая, не стоит всегда доверять предсказаниям синоптиков, даже если они основаны на точных математических расчетах и измерениях.

#### Литература

1. Китайгородский, А. И. Невероятно – не факт / А. И. Китайгородский. – М.: Молодая гвардия, 1972. – 135 с.
2. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

УДК 512.5

Садовина Е. А.

Научный руководитель: Фищенко П. А., канд. физ.-мат. наук., доцент  
*Поволжский государственный технологический университет*

### **ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Аннотация.* В данной работе изучается теория неопределенности, а также рассмотрен анализ неопределенности в пожарной безопасности.

*Ключевые слова:* теория неопределенности, анализ неопределенности, пожарная безопасность.

Некоторая информация и знания обычно представлены человеческим языком, таким как «около 100 км», «примерно 39°C», «примерно 80 кг», «низкая скорость», «средний возраст» и «большой размер». Как мы их понимаем? Как мы их моделируем? Возможно, некоторые люди думают, что это субъективная вероятность или она имеет нечеткие кон-

цепции. Тем не менее, многие опросы показали, что эти неточные величины ведут себя ни как случайность, ни как нечеткость. Этот факт побуждает изобретать теорию неопределенности, основанную Лю в 2007 году и уточненную Лю в 2010 году [1].

В настоящее время теория неопределенности стала разделом математики, основанным на нормальности, монотонности, самодуальности и аксиомы измерения продукта. В качестве приложения теории неопределенности Лю было предложено неопределенное программирование, которое ученые впоследствии применили для исследования промышленного проектирования и управления наукой.

В теории неопределенности мы должны учитывать неопределенный процесс – это, по сути, последовательность неопределенных переменных, проиндексированных по времени или пространству. Элементарная теорема обновления и теорема вознаграждения обновления были доказаны Лю в 2010 году. Предложенный им канонический процесс является непрерывным неопределенным процессом, который имеет стационарные и независимые приращения, и каждый прирост является нормальной неопределенной переменной. Неопределенное исчисление было развито как раздел математики, который имеет дело с дифференцированием и интеграцией функции неопределенных процессов. Неопределенное дифференциальное уравнение было предложено Лю как тип дифференциального уравнения, управляемого каноническим процессом. Неопределенность дифференциального уравнения была также применена к финансам, включая неопределенные модели акций и неопределенное страхование моделей.

Также в теории неопределенности рассматривается такое понятие, как неопределенная логика – это обобщение математической логики для работы с неопределенными знаниями с помощью теории неопределенности. Основной ее моделью является неопределенная логика высказываний, в которой истина значения неопределенного предложения определяется как неопределенная мера. К тому же, неопределенность является методологией для расчета истинного значения неопределенной формулы через принцип максимальной неопределенности, когда значения истинности других неопределенных формул дано.

Существует также такое понятие, как анализ неопределенности, и в настоящей работе хотелось бы рассмотреть его применительно к оценке пожарного риска.

При оценке пожарного риска анализ неопределенности представляет собой оценку неопределенности для оценок последствий и вероятно-

стей. Неопределенность может также быть количественно определена для критериев и сравнительной оценки риска [2].

Неопределенность, соответствующая лабораторным измерениям, обычно может быть определена на основе данных калибровки и значениях прецизионности для измерительного оборудования лаборатории. Лучшим способом определения неопределенности является проведение многократных экспериментов для каждого вида измерений. Тогда распределение вероятностей экспериментальных данных может быть использовано для оценки соответствующей составляющей неопределенности [3].

Неопределенность эксплуатационных данных, таких как статистические данные отчетов о пожарах, может быть определена на основе анализа изменений данных от года к году или от места к месту. Если данные преобразованы в вероятности, например, вероятность возгорания или вероятность отсутствия пожара за установленное время, то использование изменчивости эксплуатационных данных позволяет подобрать параметры распределения вероятностей к значениям вероятности.

Таким образом, при проведении анализа неопределенности важно исследовать основную процедуру оценки риска для всех параметров или предположений, которые могут быть представлены в виде параметров. Любые такие параметры имеют неопределенность. Даже скорость света и гравитационная постоянная имеют свою неопределенность, хотя она является столь малой, что может быть благополучно проигнорирована. Также нецелесообразно проведение анализа неопределенности для каждого параметра, но очень важно рассмотреть каждый из них и систематически идентифицировать все неопределенности, достаточно большие для внесения изменений не только в оценку риска, но также и в принятые на их основе решения [4].

#### Литература

1. <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadach-predvaritelnogo-proektirovaniya-v-usloviyah-parametricheskoj-neopredelenosti/viewer>.
2. Пожарные риски. Выпуск 1. Основные понятия / Н. Н. Брушлинский, Ю. М. Глуховенко, В. Б. Коробко и др.; под ред. Н. Н. Брушлинского). – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. – 81 с.
3. Надежность технических систем: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 304 с.
4. <http://www.skonline.ru/digest/57227.html?page=3>.

Сафаров С. В., Салихова Л. М.  
Поволжский государственный технологический университет

## ЦИКЛОИДНЫЕ КРИВЫЕ

**Аннотация.** Циклоидальные кривые широко применяются в технике для построения профилей зубьев шестерен, очертания многих типов эксцентриков, кулаков.

**Ключевые слова:** циклоида, циклоидная кривая, циклоидальное зацепление.

Циклоидальные кривые широко применяются в технике для построения профилей зубьев шестерен, очертаний многих типов эксцентриков, кулаков и пр., мы посчитали данную тему актуальной и интересной для изучения. Общее название линий, описываемых точкой любой кривой, катящейся без трения по любой другой кривой, – рулетты. Простейшая из рулетт, описываемая точкой окружности, катящейся без трения по прямой линии, – циклоида.

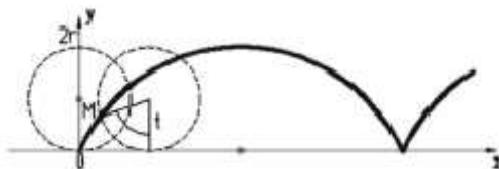


Рис. 1. Простейшая рулетта

Циклоидой называется линия, которую описывает точка, закрепленная в плоскости круга, когда этот круг катится (без скольжения) по некоторой прямой.

Детали машин, которые совершают одновременно равномерное вращательное и поступательное движения, описывают циклоидальные кривые.

Циклоидальное зацепление – такой вид зацепления, при котором профили зубьев очерчены по участкам циклоид: эпициклоид и гипоциклоид.

Особенность циклоидального зацепления состоит в том, что, при внешнем зацеплении головку зуба очерчивает эпициклоида, а ножку зуба – гипоциклоида. Происходит касание эпициклоиды шестерни с гипоциклоидой колеса. При внутреннем зацеплении – наоборот.

Достоинства:

- 1) скорость скольжения и удельное скольжение меньше, а, следовательно, более плавная и бесшумная работа;
- 2) более высокий КПД;
- 3) коэффициент перекрытия больше 2;
- 4) отсутствие подрезания ножки зуба.

Недостатки:

- 1) профилем циклоидальной рейки являются две циклоиды, а не прямая, как в эвольвентном зацеплении;
- 2) очень чувствительно к ошибкам в профиле и изменению межосевого расстояния;
- 3) сложность изготовления инструмента и поэтому его высокая себестоимость.

Упрощенными видами циклоидального зацепления являются часовое и цевочное зацепления.

Большое внимание в настоящее время уделяется эксцентриково-циклоидальному зацеплению зубчатых колес, разрабатываются механизмы на его основе.

На рис. 2 показаны внутренняя цилиндрическая (а), коническая (б) и реечная (в) передачи, использующие ЭЦ-зацепление.

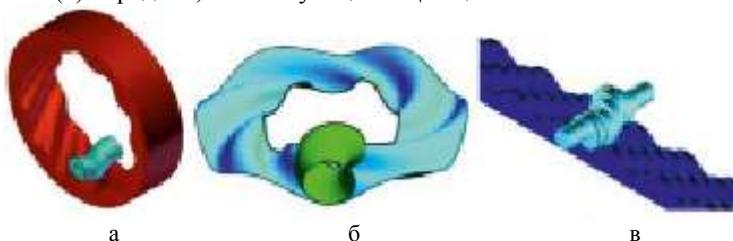


Рис. 2. Простые передаточные механизмы на основе ЭЦ-зацепления

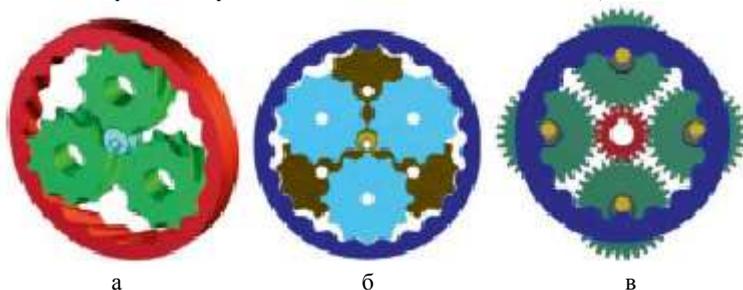


Рис. 3. Планетарные механизмы на основе ЭЦ-зацепления

На рис. 3 приведены планетарные механизмы по схеме Джеймса на базе ЭЦ-зацепления с криволинейными зубьями (а), с разнесенными сателлитами (б) и по схеме Давида (в) с использованием в одном ряду эвольвентного, а в другом ряду – ЭЦ-зацепления.

В настоящее время на основе ЭЦ-зацепления выполнен ряд проектов. Разработаны и изготовлены ручные гайковерты, редуктор для привода следящей системы. Разработан проект замены отработавших свой срок службы редукторов для станков–качалок, с использованием того же корпуса с посадочными местами. Замена подлежат только колеса. При этом для достижения того же передаточного отношения потребуются значительно меньшее число зубьев. При тех же габаритах редуктора возникает возможность значительного увеличения размеров зуба, что в целом позволяет увеличить ресурс редуктора не менее, чем в 5 раз.

Как видим, циклоида имеет огромное практическое применение не только в математике, но и в физике, и в технологических расчетах.

Задачи, приводящие к циклоиде, сыграли значительную роль в становлении механики и математического анализа. Но, когда величественные здания этих наук были построены, оказалось, что эти задачи являются частными, далеко не самыми важными. История циклоиды завершилась в конце XVII века: стало ясно, что циклоида не связана с фундаментальными законами природы, как например, конические сечения. Произошла поучительная историческая иллюзия.

Циклоида имеет огромное практическое применение не только в математике, но и в технологических расчетах, физике, технике. Применение «замечательных кривых» широко распространено, их применяют в производстве, строительстве, военном деле.

УДК 519.2:796

Смирнов А. Н., Салихова Л. М.

*Поволжский государственный технологический университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В СТАВКАХ НА СПОРТ**

*Аннотация. Применение теории вероятностей в ставках на спорт и расчет вероятности выигрыша.*

**Ключевые слова:** теория вероятностей, маржа, математическое ожидание, дисперсия.

Теория вероятностей – раздел науки, изучающий случайные события, их поведение, операции над ними и закономерности. Впервые ученые заинтересовались им в 20 веке, на сегодняшний день уже созданы основные формулы, определения и вычисления теории вероятностей. Интересно, что впервые математики использовали для расчетов азартные игры: кости, рулетка и т. д. Их заинтересовало, почему казино всегда остается в выигрыше, тогда никто не знал, как использовать вероятность в свою пользу.

Многие, кто играет в букмекерских конторах, нередко приравнивают это увлечение к науке, в частности, к математике. Это не всегда оправдывается, однако общее все же есть: в обеих областях могут происходить случайные события, и в математике их вероятность определяется специальными формулами. Как подобное может быть применено в ставках на спорт?

Любой матч – это событие, и оно будет иметь определенные исходы, и их вполне реально оценить с точки зрения вероятности. Независимо от того, тоталы это или форы, количество голов, победа команды, статистические показатели и прочие рынки. Если в случае с идеальной монеткой в идеальных условиях шансы на выпадение каждой стороны равны 0.5, то в спортивных пари все сложнее. Итогового результата не знает ни игрок, ни букмекер. Единственный вариант, которым и пользуются букмекеры, это расчет шансов наступления событий в матче. Этим и занимаются аналитики букмекерских контор, выставляя после расчетов и анализа вероятности в виде коэффициентов.

Коэффициенты — это те же вероятностные шансы на осуществление какого-либо события. Мы привыкли видеть такие значения, как 1.20, 1.50, 2.10 и т. д. Чтобы перевести эти значения в проценты, достаточно единицы разделить на выставленный коэффициент:

коэффициент 1,5	$1/1,5 = 0,66$	или	66%
коэффициент 2,4	$1/2,4 = 0,42$	или	42%
коэффициент 3,2	$1/3,2 = 0,31$	или	31%.

Может возникнуть вполне логичный вопрос: а откуда берут цифры букмекеры, и как они оценивают события? Над этим трудится целый штат специалистов и аналитиков, а также программ, которые рассматривают сотни и тысячи факторов и на основании получения данных выставляют шансы на проход определенных исходов.

Описывая теорию вероятности в ставках, нельзя обойти мимо маржу, именно благодаря ей, букмекерские конторы получают доход.

Маржа – есть небольшое дополнение к вероятности, которая превращает коэффициент в изначально убыточный для игрока при условии, что она заранее и точно известна.

Например: Даны два равновероятных рынка: тотал чет и тотал нечет футбольного матча. Очевидно, что вероятность здесь должна быть 0,5 на 0,5, то есть, коэффициенты по идее равны 2 и 2. однако БК такой расклад невыгоден, потому что при ставках на оба исхода, она останется без прибыли. Поэтому котировки искусственно занижаются до 1,9 на 1,9, то есть, шансы уже составляют 0,52 на 0,52. Если их сложить, получается 1, 04 (104%). Но ведь вероятность не может быть выше единицы? Дело в том, что «лишние» 4% – это и есть маржа, именно ее и забирает контора в качестве комиссии.

Маржу можно вычислить по формуле:

$$\left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_x} + \frac{1}{k_2} \right) - 1,$$

где  $k_1$  – коэффициент первой команды,

$k_x$  – коэффициент на ничью,

$k_2$  – коэффициент на вторую команду.

Конечно, получить крупный выигрыш по определенному пари можно и без математических знаний и даже без понимания правил игры (к вопросу о случайностях). Некоторые неопытные игроки после нескольких удачных ставок начинают считать себя гуру беттинга, что, конечно, не соответствует действительности.

Математическое ожидание в беттинге – это категория, позволяющая понимать средний размер выигрыша при регулярном размещении ставок по конкретной стратегии. Для расчета мат. ожидания есть даже формула:

$$M = P * S - B * Z,$$

где  $P$  – вероятность выигрыша,

$S$  – сумму потенциального выигрыша по текущему пари,

$B$  – вероятность проигрыша,

$Z$  – сумму потенциального проигрыша по текущему пари.

Какой бы выверенной ни была формула теории вероятности в ставках на футбол, хоккей, теннис или другой вид спорта, не все так просто. Как мы уже знаем, коэффициент 1,2 свидетельствует о том, что в 83 из

100 случаев событие случится. Однако, когда ставка окажется плюсовой, а когда минусовой на дистанции – непонятно.

Дисперсией принято называть отклонение результатов игры от усредненных показателей, которые должны учитываться в используемой математической модели.

Рассчитать дисперсию можно по следующей формуле:

$$D = \left(1 - \frac{1}{k}\right)^S,$$

где  $k$  – букмекерский коэффициент,

$S$  – количество минусовых ставок подряд.

Получается, что при трех проигрышах подряд по ставке с коэффициентом 1,2 вероятность четвертого минуса равна 0,49.

Чтобы быть в хорошем плюсе, необходимо уметь работать со статистикой, правильно оценивать вероятность наступления событий и хорошо ориентироваться по линии. Определить вероятность наступления события вы сможете только в том виде спорта, в котором хорошо разбираетесь. Игроки используют теорию вероятности в ставках на настольный теннис, баскетбол, киберспорт и прочие виды спорта, даже не осознавая этого факта.

#### Литература

1. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
2. Теория вероятностей в ставках. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://betonmobile.ru/teoriya-veroyatnosti-v-stavkakh> (дата обращения 16.01.2020).
3. Теория вероятности в ставках на спорт: немного о научном подходе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://legalbet.ru/shkola-bettinga/teoriya-veroyatnosti-v-stavkakh-na-sport/> (дата обращения 16.01.2020).

УДК 517.2:53

Терентьев Н. А., Салихова Л. М.

*Поволжский государственный технологический университет*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ В ФИЗИКЕ**

*Аннотация. Разобрано решение задачи физики с помощью производных.*

**Ключевые слова:** производная в физике, сила тока, индукция, плотность вещества.

Производной функции, заданной на некотором интервале, в некоторой точке  $x$  этого интервала называют предел отношения приращения функции в этой точке к соответствующему приращению аргумента, когда приращение аргумента стремится к нулю, если такой предел существует. Функцию, имеющую конечную производную, называют дифференцируемой.

$$f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}.$$

Действие нахождения производной называется её дифференцированием, а функцию, имеющую производную в точке  $x$ , называют дифференцируемой в этой точке. Функция, дифференцируемая в каждой точке промежутка, называется дифференцируемой в этом промежутке.

Основные законы математического анализа открыли английский физик и математик Исаак Ньютон и немецкий математик, физик, философ Лейбниц.

Ньютон ввел понятие производной, изучая законы механики, тем самым раскрыв её механический смысл.

Физический смысл производной: производная функции  $y = f(x)$  в точке  $x_0$  – это скорость изменения функции  $f(x)$  в точке  $x_0$ .

Лейбниц пришёл к понятию производной, решая задачу проведения касательной к производной линии, объяснив этим её геометрический смысл:

$$f'(x) = k = \operatorname{tg} \alpha.$$

Определение производной через предел:

$$f'(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta f(x)}{\Delta x}.$$

Применение производной:

1. Мощность есть производная работы по времени:

$$N = A'(t).$$

2. Линейная плотность стержня  $p(l)$  в данной точке есть производная функции массы стержня по его длине ( $l$ ):

$$P(l) = m'(l).$$

3. Теплоемкость есть производная теплоты по температуре:

$$C(t) = Q'(t).$$

4. Сила тока есть производная заряда по времени:

$$I = q'(t).$$

5. Мгновенное значение ЭДС электромагнитной индукции:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Рассмотрим пример применения производных в задачах.

1. В тонком неоднородном стержне, имеющем длину 25 см, масса (в граммах) распределяется по закону  $m(l) = 3l^2 - 2l + 8$ . Найти плотность стержня на расстоянии 5 см от начала стержня.

Решение:

$$P(l) = m'(l).$$

$$P(l) = 6l - 2; P(5) = 30 - 2 = 28.$$

Ответ: 28 г/см<sup>3</sup>

2. Пусть  $Q(t)$  количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела  $m=1$  кг от 0<sup>0</sup>С до  $t^0$ , известно, что в диапазоне от 0<sup>0</sup> до 95<sup>0</sup>, формула

$$Q(t) = 0,396 t + 2,081 \cdot 10^{-3} t^2 - 5,024 \cdot 10^{-7} t^3.$$

дает хорошее приближение к истинному значению. Найдите, как зависит теплоёмкость воды от  $t$ .

Решение:

$$C(t) = Q'(t) = 0,396 + 4,162 \cdot 10^{-3} t - 15,072 \cdot 10^{-7} t^2.$$

Вывод

Производная успешно применяется при решении различных прикладных задач в физике. Применение производной функции весьма многообразно и не только при изучении математики и физики, но и других дисциплин.

Литература

1. Чертов, А. Г. Задачник по физике: учеб. пособие для вузов / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2001. – 640 с.

Урванцев Д. Н., Журавлева И. В.

*Поволжский государственный технологический университет*

## АНАЛИЗ ПОДХОДИМОСТИ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ГОРОДА ЙОШКАР-ОЛЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

*Аннотация.* Представлен анализ погодных условий Йошкар-Олы по следующим параметрам: эффективная температура, давление, скорость ветра. Производится определение закона распределения этих случайных величин.

*Ключевые слова:* эффективная температура, давление, скорость ветра.

Генератор псевдослучайных чисел – алгоритм, порождающий последовательность чисел, элементы которой почти независимы друг от друга и подчиняются заданному распределению (обычно равномерному).

**Цель:** изучить погодные явления Йошкар-Олы, с точки зрения прикладного применения для генерации случайных чисел заданного распределения.

**Методы.** Для первичного определения законов распределения физических величин составим гистограмму относительных частот для всех данных: эффективной температуры, скорости ветра и давления. При выявлении закономерностей воспользуемся критерием Пирсона.

Для начала проанализируем **эффективную температуру**.

Минимальная температура за весь исследуемый период составила  $-41,2^{\circ}\text{C}$ , максимальная  $27,9^{\circ}\text{C}$ . Воспользуемся правилом Стержесса для нахождения числа интервалов. Основываясь на том, что всего было проанализировано 6558 значений шаг составляет:

$$\frac{27,9 - (-41,2)}{1 + 3,2 * \log_{10} 6558} = 5,229433.$$

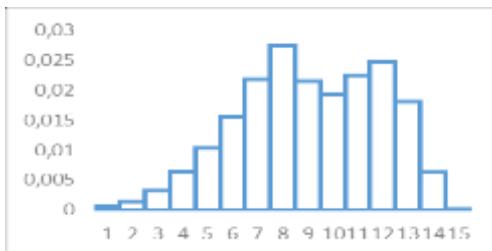
Округлим полученное значение для упрощения вычислений до 5. Левое значение возьмём  $-41,2 - 2,5 \approx -44$ . Тогда прибавлением шага получаем следующие промежутки, с соответствующим количеством появившихся в них температур:

[-44;-38)	[-38;-33)	[-33;-28)	[-28;-23)	[-23;-18)	[-18;-13)	[-13;-8)	[-8;-3)
19	48	103	211	341	512	719	905
[-3; 2)	[2; 7)	[7; 12)	[12; 17)	[17; 22)	[22; 27)	[27; 32)	
708	633	736	814	596	207	6	

Вычислим для каждого интервала относительные частоты и построим график:

$[-44; -38)$	$[-38; -33)$	$[-33; -28)$	$[-28; -23)$	$[-23; -18)$	$[-18; -13)$	$[-13; -8)$	$[-8; -3)$
0,000579	0,001464	0,003141	0,006435	0,0104	0,015615	0,021927	0,0276

$[-3; 2)$	$[2; 7)$	$[7; 12)$	$[12; 17)$	$[17; 22)$	$[22; 27)$	$[27; 32)$
0,021592	0,019305	0,022446	0,024825	0,018176	0,006313	0,000183



По гистограмме сразу видно, что распределение не является равномерным и даже нормальным. Таким образом, эффективная температура не подходит для генерации случайных чисел.

### Проанализируем скорость ветра

Минимальная скорость ветра за весь исследуемый период составила 0 м/с, максимальная – 16 м/с. Основываясь на том, что всего было проанализировано 6608 значений шаг составляет, по аналогии с предыдущим анализом, 1,209901. Округлим полученное значение для упрощения вычислений до 1. Левое значение возьмём -0,5. Тогда, прибавлением шага, получаем следующие промежутки, с соответствующим количеством попавших в них скоростей ветра:

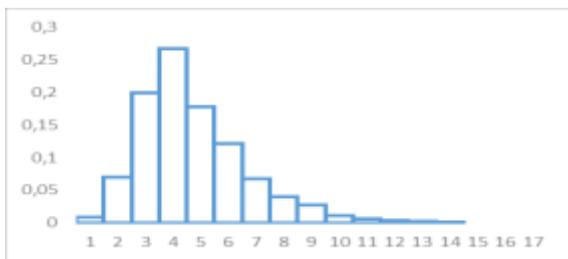
$[-0,5; 0,5)$	$[0,5; 1,5)$	$[1,5; 2,5)$	$[2,5; 3,5)$	$[3,5; 4,5)$	$[4,5; 5,5)$	$[5,5; 6,5)$	$[6,5; 7,5)$	$[7,5; 8,5)$
56	464	1314	1763	1177	801	445	263	179

$[8,5; 9,5)$	$[9,5; 10,5)$	$[10,5; 11,5)$	$[11,5; 12,5)$	$[12,5; 13,5)$	$[13,5; 14,5)$	$[14,5; 15,5)$	$[15,5; 16,5)$
69	38	23	9	5	0	1	1

Вычислим для каждого интервала относительные частоты и построим график:

$[-0,5; 0,5)$	$[0,5; 1,5)$	$[1,5; 2,5)$	$[2,5; 3,5)$	$[3,5; 4,5)$	$[4,5; 5,5)$	$[5,5; 6,5)$	$[6,5; 7,5)$	$[7,5; 8,5)$
0,008475	0,070218	0,19885	0,266798	0,178117	0,121217	0,067343	0,0398	0,027088

$[8,5; 9,5)$	$[9,5; 10,5)$	$[10,5; 11,5)$	$[11,5; 12,5)$	$[12,5; 13,5)$	$[13,5; 14,5)$	$[14,5; 15,5)$	$[15,5; 16,5)$
0,010442	0,005751	0,003481	0,001362	0,000757	0	0,000151	0,000151



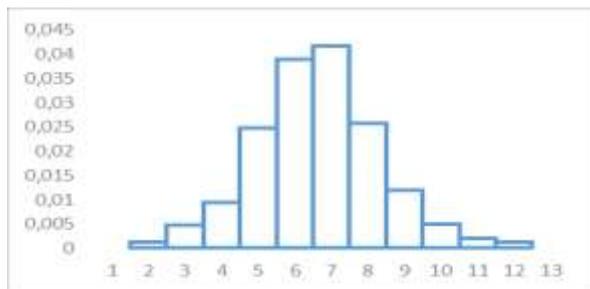
По гистограмме видно, что распределение не является равномерным. А также, исходя из исследования, не является нормальным.

### Проанализируем **давление**

Минимальная скорость ветра за весь исследуемый период составила 967,3 мбар (миллибар), максимальная 1040,5 мбар. Основываясь на том, что всего было проанализировано 2483 значений, шаг составляет, по аналогии с предыдущим анализом, 6,169965. Округлим полученное значение для упрощения вычислений до 6. Левое значение возьмём 964,3. Тогда, прибавлением шага, получаем следующие промежутки, с соответствующим количеством попавших в них давлений:

[964,3;970,3)	[970,3;976,3)	[976,3;982,3)	[982,3;988,3)	[988,3;994,3)	[994,3;1000,3)
4	16	71	140	368	580

[1000,3; 1006,3)	[1006,3; 1012,3)	[1012,3; 1018,3)	[1018,3; 1024,3)	[1024,3; 1030,3)	[1030,3; 1036,3)	[1036,3; 1042,3)
622	384	177	73	29	15	4



По гистограмме видно, что распределение не является равномерным. А также, исходя из исследования, не является нормальным.

**Вывод.** Ни одна гипотеза не подтвердилась, а это значит, что погодные явления города Йошкар-Олы не подходят ни для генерации последовательностей с нормальным законом распределения, ни для генерации равномерных последовательностей.

Холодов М. Н., Салихова Л. М.  
*Поволжский государственный технологический университет*

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТРИЦ В ЭКОНОМИКЕ

*Аннотация.* Разобрано решение задачи с помощью матриц.

**Ключевые слова:** матрица в экономике, матрица-столбец, матрица-строка.

Одним из основных методов решения экономических задач является матричный метод. На данный момент особенно актуально использование матриц для создания баз данных, ведь вся информация обрабатывается и хранится в матричной форме.

Матрица – это объект, записываемый в виде прямоугольной таблицы элементов кольца или поля, которая представляет собой совокупность строк и столбцов, на пересечении которых находятся её элементы.

Задача Предприятие выпускает три вида продукции  $C_1, C_2, C_3$  и на производство данной продукции использует два вида сырья  $K_1, K_2$ :

$$A = \begin{pmatrix} 4 & 3 \\ 2 & 6 \\ 1 & 5 \end{pmatrix},$$

где каждый элемент  $a_{ij}$  показывает, сколько сырья  $j$ -того типа может быть израсходовано на производство продукции  $i$ -того типа. Стоимость

каждого типа сырья задана матрицей-столбцом  $C = \begin{pmatrix} 60 \\ 40 \end{pmatrix}$ ,

а план выпуска продукции задан матрицей-строкой  $B = (90 \ 130 \ 50)$ .

Таким образом, мы получим: затраты на сырьё

$$K_1 = 4 * 90 + 2 * 130 + 1 * 50 = 670 \text{ (ед)},$$

а стоимость второго сырья  $K_2 = 3 * 90 + 6 * 130 + 5 * 50 = 1300 \text{ (ед)}$ .

Следовательно, общая стоимость сырья

$$P = 670 * 60 + 130 * 40 = 92200$$

может быть записана в виде матрицы:  $P = K * C = (BA)C = 92200$ .

Отметим, что общую стоимость сырья  $P$  можно вычислить и в ином порядке: для начала, вычислим матрицу  $Z$  стоимостей затрат сырья:

$$Z = A * C = \begin{pmatrix} 4 & 3 \\ 2 & 6 \\ 1 & 5 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 60 \\ 40 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 360 \\ 360 \\ 260 \end{pmatrix}.$$

Общая стоимость сырья равна:

$$P = B * Z(90 \quad 130 \quad 50) * \begin{pmatrix} 360 \\ 360 \\ 260 \end{pmatrix} = 92200.$$

Одинаковость данных результатов (92200) получена благодаря выполнению ассоциативного закона произведения матриц:

$$(BA)C = B(AC).$$

Таким образом, знание о том, как решать матрицы, и умение с ними работать, позволяет решать различные экономические задачи.

#### Литература

1. Светличная, В. Ю. Применение линейной алгебры в экономике / В. Ю. Светличная, Н. В. Орехова, С. В. Мелешко // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 174-175.
2. Ахмедханова, А. И. Применение матриц в экономике / А. И. Ахмедханова, В. А. Кожемякина, И. И. Мамаев // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-4. – С. 454-456.
3. Письменный, Д. Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс / Д. Т. Письменный. – 4-е изд. – М.: Айрис-пресс, 2006. – 608 с.

УДК 512.772

Шестаков А. Д., Журавлев Е. А.

*Поволжский государственный технологический университет*

### О ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ ПАРАДОКСЕ ЭЙЛЕРА

**Аннотация.** *Выполнен анализ работы Л. Эйлера «Об одном очевидном противоречии в учении о кривых» (1750), которая посвящена вопросам алгебраической геометрии и на русский язык переведена впервые.*

**Ключевые слова:** *Эйлер, алгебраические кривые, точки пересечения, количество определяющих точек.*

В октябре 1747 г. 40-летний Эйлер представил Берлинской академии наук небольшую по объему статью (12 стр. формата А5), которая была опубликована в 4 томе трудов этой академии в 1750 г. на французском языке под названием «Sur une contradiction apparente dans la doctrine des lignes courbes» (Об одном очевидном противоречии в учении о кривых) [1]. Мы пользовались англоязычным переводом этой статьи, который вместе с оригиналом находится в электронном архиве работ Эйлера [2]. Выполненный нами перевод на русский язык размещен на корпоративном диске ПГТУ О:\кафПМиИТ\НИРС\Перевод\_E147 в свободном доступе. На русский язык эта работа Эйлера до сих пор не переводилась и в нашем докладе представлено её содержание и анализ.

Во вводной части своей работы Эйлер, не сомневаясь в непротиворечивости строго доказанных утверждений геометрии, указывает на два высказывания о свойствах алгебраических кривых, из которых вытекают явно противоречащие друг другу следствия.

I. Уравнение алгебраической кривой  $n$ -го порядка

$Ay^n + (B+Cx)y^{n-1} + (D+Ex+Fx^2) + (G+Hx+Ix^2+Kx^3)y^{n-3} + \dots = 0$  (1) содержит  $(n^2+3n)/2+1$  произвольных коэффициентов  $A, B, C, D, \dots$ . Подстановка в (1) координат каждой точки, через которую должна пройти кривая, даёт линейное уравнение, связывающее коэффициенты. Тогда  $(n^2+3n)/2$  заданных точек приводят к  $(n^2+3n)/2$  уравнениям, из которых определяются отношения всех коэффициентов, а следовательно, и сама кривая.

II. Две алгебраические кривые порядков  $n$  и  $m$  могут иметь до  $nm$  отдельных точек пересечения. Доказательству этого утверждения Эйлер посвящает отдельную работу [3], помещенную в том же томе трудов академии; её русский перевод см. в [4].

Противоречивые следствия появляются уже для кривых 3-го порядка. Из (I) следует, что по заданным 9 точкам можно построить лишь одну кубическую кривую, а из (II) – что две кубические кривые могут иметь 9 точек пересечения, т. е. через 9 точек проходят две такие кривые.

Противоречие усугубляется для кривых более высоких порядков. Так для определения кривой 4-го порядка надо задать 14 точек, и в то же время две такие линии могут проходить через 16 точек. И т. д.

Эйлер обнаруживает источник противоречия в нечеткой формулировке утверждения (I), в котором необходимо потребовать, «чтобы все уравнения отличались друг от друга, или ни одно из них не содержалось в других». Говоря современным языком, точки, определяющие кривую должны быть выбраны так, чтобы система линейных уравнений для нахождения коэффициентов кривой была определенной. Если игнори-

ровать это требование, то может оказаться, что любого числа точек недостаточно для определения кривой заданного порядка.

В качестве примеров Эйлер рассматривает кривые второго и третьего порядков. Для конического сечения (кривой второго порядка)

$$\alpha x^2 + \beta xy + \gamma y^2 + \delta x + \epsilon y + \zeta = 0 \quad (2)$$

он аналитическим путем находит правило выбора 5-ти точек, однозначно определяющих такую кривую: никакие 4 точки из 5-ти не должны лежать на одной прямой.

Заслуживает внимания предложенная Эйлером геометрическая интерпретация этого условия. Кривая (2) включает и случай 2-х произвольных прямых. Если выбрать 4 точки на одной из этих прямых, тогда для определения второй прямой одной точки окажется уже недостаточно. Пусть, например, уравнение кривой 2-го порядка имеет вид

$$x^2 - xy - x = 0 \quad \text{или} \quad (x+y-1)x = 0. \quad (3)$$

Если на прямой  $x + y - 1 = 0$  выбрать 4 точки, а в качестве 5-ой взять какую-нибудь точку прямой  $x = 0$ , например, начало координат, то такие 5 точек будут определять не единственную кривую (3), а однопараметрическое семейство конических сечений:  $C(x^2 + xy - x) - y^2 - xy + y = 0$  (рис. 1).

В общем уравнение кривой 3-го порядка:

$$\alpha x^3 + \beta x^2y + \gamma xy^2 + \delta y^3 + \epsilon x^2 + \zeta xy + \eta y^2 + \theta x + \iota y + \kappa = 0 \quad (4)$$

входят 10 коэффициентов  $\alpha, \beta, \dots, \kappa$  и для определения отношений 9 из них к 10-му достаточно задать координаты 9-ти точек этой кривой.

Эйлер указывает, что уравнение (4) может включать 3 прямые, либо одну прямую и одно коническое сечение. Поэтому, если 4 и более точек из 9-ти расположены на прямой, то эта прямая обязательно будет «составной частью кривой (4)», а оставшихся 5-ти (при 4-х коллинеарных) и менее точек окажется недостаточно для однозначного определения конического сечения.

Замечательно, что, не удовлетворившись такими особыми случаями, Эйлер рассматривает пример задания кубической кривой 9-ю точками, расположение которых показано на рис. 2. Не демонстрируя подробности вычислений – подстановку координат каждой из 9-ти точек в (3) и решение полученной системы 9-ти линейных уравнений для  $\alpha, \beta, \dots, \kappa$ , он приводит окончательный результат:

$$m\gamma(y^2 - a^2) = n\alpha(x^2 - a^2), \quad (5)$$

где  $m, n$  – произвольные коэффициенты.

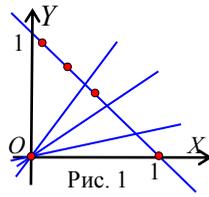


Рис. 1

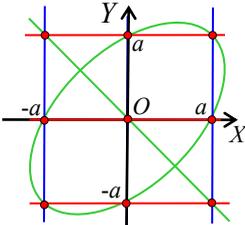


Рис. 2

Отмечая, что уравнение (5) описывает целое семейство кубических кривых (рис. 2), в которое входят, в частности, и тройки прямых  $x = 0$ ,  $x + a = 0$ ,  $x - a = 0$  при  $m = 0$  (синий цвет),  $y = 0$ ,  $y + a = 0$ ,  $y - a = 0$  при  $n = 0$  (красный цвет), и прямая  $x + y = 0$  с эллипсом  $x^2 + y^2 - xy - a^2 = 0$  при  $m = -n$  (зеленый цвет), Эйлер заключает, что выбранные 9 точек (рис. 2) не позволяют однозначно определить кубическую кривую (3).

Вопрос о расположении точек, обеспечивающих 9 независимых уравнений для определения коэффициентов уравнения (3), был окончательно решен, по-видимому, лишь 135 лет спустя М. Шалем [5].

#### Литература

1. Euler, L. Sur une contradiction apparente dans la doctrine des lignes courbes // Memoires de l'academie des sciences de Berlin. – Berlin, 1750. – V.4, P. 219-233.
2. Euler, L. On an Apparent Contradiction in the Doctrine of Curved Lines. – англ. пер. W. Marshall под ред. R. E. Bradley <https://home.adelphi.edu/~bradley/Translations/E147.pdf>.
3. Euler, L. Demonstration sur le nombre des points, ou deux lignes des ordres quelconques peuvent se couper // Memoires de l'academie des sciences de Berlin. – Berlin, 1750. – V.4, P. 234-248.
4. Посошнова, К. Д. Об одной малоизвестной работе Эйлера / К. Д. Посошнова, М. В. Филонова, Е. А. Журавлев // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XIV международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам: в 4 ч. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 59-61.
5. Chasles, M. Trait'e des sections coniques, Gauthier-Villars, Paris, 1885.

УДК 519.2:796

Яранцева Е. А., Салихова Л. М.

*Поволжский государственный технологический университет*

### ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В СТАВКАХ НА СПОРТ

**Аннотация.** Данная статья предлагает ознакомиться с использованием такой науки, как теория вероятности, в ставках на спорт.

**Ключевые слова:** ставки на спорт, букмекерская контора, статистика, маржа, беттинг.

Игроки букмекерских контор нередко сопоставляют свое занятие с наукой, в частности, с математикой. Это не всегда оправдывается, но общее в них все же есть: обе области могут иметь случайные события,

вероятность которых определяется специальными формулами. Как подобное может быть употреблено в ставках на спорт?

Если, оценивая возможный итог, не учесть некоторый ряд переменных, способных инициировать случайные события, итоговый результат может вовсе не совпадать с предполагаемым. Для практического изучения возможного результата случайного события используются следующие науки: эконометрика и статистика. Говоря о событиях, происходящих в мире спорта, видно, что особую роль занимает теория вероятности – математический раздел, который основан на изучении случайных событий и их свойств.

### **Маржа букмекера – страховка от случайностей**

Теория вероятности в ставках на спорт – это базис, на котором строится букмекерский бизнес. Все букмекеры закладывают в свои коэффициенты маржу, что позволяет им получать доход независимо от результата спортивного события. При этом букмекерские котировки выставляются на основе вероятности конкретного исхода. В том случае, если они будут рассчитаны неправильно, букмекер понесет убытки.

Чтобы определить процент вероятности исхода, нужно 100% разделить на коэффициент ставки этого исхода.

В качестве примера можно взять матч Суперкубка УЕФА, где букмекер оценил вероятность победы «Ливерпуля» в основное время коэффициентом 1,77. Если разделить 1 на этот коэффициент и перевести в проценты, то процентная вероятность победы составит 56,4%.

Если таким же образом перевести в процентную вероятность коэффициенты на ничью и победу «Челси», то можно узнать величину букмекерской маржи:

$(1 : 4) * 100\% = 25\%$  – это процентная вероятность ничейного исхода.

$(1 : 4,2) * 100\% = 23,8\%$  – это процентная вероятность победы «аристократов».

Всем известный факт: максимальный процент равен 100. Это значит, что, если суммировать исходные результаты и отнять 100, можно узнать размер прибыли, закладываемой букмекером на рынок исходов в этом матче:  $56,4 + 25 + 23,8 - 100 = 5,2$ .

Это означает, что при любом исходе букмекерская прибыль составит около 5,2% от всего объема ставок на данный исход.

### **Математическое ожидание в ставках**

Понятно, что «сорвать куш» в определенном пари можно как без знаний математики, так и даже без понимания правил игры. Некоторые непьющие игроки после пар удачных ставок начинают считать себя гуру по ставкам, что, само собой, не является действительностью. Успешным можно считать игрока только в том случае, если он получает прибыль от игры на длительной дистанции.

Математическое ожидание в беттинге – это категория, которая позволяет понимать средний размер выигрыша при регулярном размещении ставок по конкретной стратегии. В случаях ставок для расчета математического ожидания имеется формула, в которой вероятность выигрыша умножается на сумму потенциального выигрыша по текущему пари, из результата вычитается произведение вероятности проигрыша и суммы потенциального проигрыша по текущему пари.

### **Дисперсия в ставках на спорт**

Какой бы проверенной ни была формула теории вероятности в ставках на какой-нибудь вид спорта, не все так просто. Как мы уже знаем, коэффициент 1,2 свидетельствует о том, что в 83 из 100 случаев событие случится. Но вот, когда ставка окажется плюсовой, а когда минусовой на дистанции – непонятно.

Дисперсией принято называть отклонение результатов игры от усредненных показателей, которые должны учитываться в используемой математической модели.

Рассчитать дисперсию можно по следующей формуле:  $\left(1 - \frac{1}{k}\right)^s$ , где  $k$  – букмекерский коэффициент,  $s$  – количество минусовых ставок подряд.

Получается, что при трех проигрышах подряд по ставке с коэффициентом 1,2 вероятность четвертого минуса равна 0,49:

$$\left(1 - \frac{1}{1,2}\right)^3 = 0,004913.$$

Игроки используют теорию вероятности в ставках на настольный теннис, баскетбол, киберспорт и прочие виды спорта, даже не осознавая этого факта. Отслеживание изменений букмекерских котировок, изучение текущей формы соперников, анализ предыдущих игр – все это и есть математическое ожидание. И если все подсчеты сделаны правильно, вероятность выигрыша будет выше. Как минимум математически.

Чтобы быть всегда в плюсе, нужно уметь работать со статистикой, правильно оценивать вероятность наступления событий и хорошо ориентироваться. И определить вероятность наступления события реально только в том виде спорта, в котором хорошо разбираешься.

### **Литература**

1. Букмекерских ставки на спорт: сайтlegalbet. – 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://legalbet.ru/shkola-bettinga/teoriya-veroyatnosti-vstavkakh-na-sport/>.
2. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

## Секция «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»

---

УДК 544.641

Багаева Е. А., Смирнова Ю. В., Демакова В. В.  
Научные руководители: Ладычук Д. В., канд. хим. наук, доцент;  
Гогелашвили Г. Ш., канд. хим. наук, доцент  
*Поволжский государственный технологический университет*

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*Аннотация.* Метод электролиза водных растворов электролитов применен для определения заряда электрона и постоянной Фарадея.

*Ключевые слова:* электролиты, диссоциация, электролиз, законы Фарадея.

Широко известно, что кроме металлов – проводников первого рода, в которых заряд переносится с участием электронов, способностью проводить электрический ток обладают также электролиты – растворы и расплавы солей, кислот и оснований. Перенос заряда в них происходит с помощью ионов, поэтому эти вещества относятся к проводникам второго рода. Образование заряженных частиц в растворах происходит вследствие электролитической диссоциации – распада веществ на ионы: положительные (катионы) и отрицательные (анионы). Количественно диссоциативный процесс оценивается константой диссоциации – величиной, равной отношению концентраций продуктов диссоциации и недиссоциированных молекул. В связи с этим различаются сильные электролиты – распадающиеся в растворе на ионы практически целиком (NaCl, KOH), и слабые – диссоциирующие частично (CuSO<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>COOH), в результате в растворе наблюдается динамическое равновесие между недиссоциированными молекулами и ионами [1].

Электрический ток в электролитах обусловлен движением ионов под действием внешнего электрического поля. Поэтому проводимость электролитов, в отличие от электронной проводимости металлов, является ионной. Прохождение постоянного тока через электролиты связано с переносом вещества и сопровождается выделением составных частей этих веществ на электродах. Это явление называется электролизом. При опускании в раствор или расплав электролита двух электродов (металлических или угольных), соединенных с полюсами источника постоян-

ного напряжения, и создании внешнего постоянного электрического поля, под действием электрических сил ионы в растворе приходят в направленное движение. К катоду движутся катионы, а к аноду – анионы. При электролизе химическая реакция осуществляется за счет энергии электрического тока, подводимой извне. Состав продуктов реакции определяется природой электродов и веществ, участвующих в процессе, а также рядом других условий. Законы электролиза были открыты в 30-х годах XIX-го века Майклом Фарадеем. Первый и второй законы Фарадея связывают массу выделившегося на электроде вещества с электрическим зарядом, прошедшим через раствор электролита, молярной массой и валентностью вещества [2,3]. Для одного моля вещества

$$m = kq = kIt = \frac{\mu}{ZeN_A} It = \frac{1}{F} \frac{\mu}{Z} It ,$$

где  $m$  – масса вещества,  $k$  – электрохимический эквивалент (константа для каждого вещества),  $I$  – сила тока,  $t$  – время,  $Z$  – валентность вещества,  $e$  – элементарный заряд,  $\mu$  – молярная масса,  $N_A$  – число Авогадро.

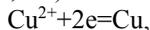
Вследствие того, что, согласно второму закону Фарадея, при электролизе различных химических соединений равные количества электричества приводят к электрохимическому превращению эквивалентных количеств веществ, была введена величина  $F$  – постоянная (число) Фарадея ( $F \approx 96500$  Кл). Она численно равна электрическому заряду, при прохождении которого через электролит на электроде выделяется 1 моль одновалентного вещества [3].

Работа выполнена с помощью flash-анимации физической экспериментальной установки. Лабораторная установка состояла из следующих компонентов: амперметр, электронный секундомер, выпрямитель, весы, электролитическая ванна с водными растворами солей, набор металлических электродов, изготовленных из меди, никеля, кобальта, железа и хрома. В качестве солей использовались сульфаты двухвалентных  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  и трехвалентных  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$  ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  и т. д.) металлов.

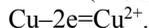
Поскольку в проведенном эксперименте в качестве анода использовались пластины, изготовленные из металлов, а электрохимическая реакция происходила в нейтральных водных растворах солей ( $\text{pH}=7$ ), то анод является активным и электролиз сводится к растворению материала анода и выделению его на катоде. Это связано с тем, что в рассматриваемых системах значение стандартного электродного потенциала металла  $E^0_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}$  отличается от аналогичных величин, характерных для процессов разложения и образования воды. В частности, в растворе  $\text{CuSO}_4$  с медным анодом электролиз происходит по следующей схеме:



на катоде происходит восстановление ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и выделение металла ( $E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}=+0,34 \text{ В} > E^0_{2\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2}=-1,0 \text{ В}$ ):



а на аноде происходит противоположный процесс – окисление металла и, следовательно, растворение анода ( $E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}=+0,34 \text{ В} < E^0_{\text{O}_2/2\text{H}_2\text{O}}=1,8 \text{ В}$ ):



Ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  в водных растворах не разряжаются, т. к. относятся к кислородсодержащим ионам. Таким образом, в данном процессе происходит перенос меди с анода (растворение) на катод (осаждение), а общая концентрация соли в растворе не изменяется.

Электролиз проводился в течение  $t = 45$  мин. при силе тока  $I = 2 \text{ А}$ . Электроды взвешивались на весах до и после электролиза для определения массы осажденного на них металла. Для каждого материала проводилось по пять параллельных опытов.

Расчет заряда электрона и числа Фарадея осуществлялся по формулам:

$$e = \frac{\mu}{mZN_A} It, \quad F = eN_A.$$

Результаты измерений приведены в таблице.

Материал	$e_{\text{экс}} * 10^{-19}$ , Кл	$e_{\text{табл}} * 10^{-19}$ Кл	$\epsilon_{\text{ср}}$ , %	$F_{\text{экс.}}$ , Кл/моль	$F_{\text{табл.}}$ , Кл/моль	$\epsilon_{\text{ср}}$ , %
Медь (Zn)	1,616	1,602	0,16	97300	96500	0,12
Железо (Fe)	1,591			95810		
Никель (Ni)	1,595			96030		
Кобальт (Co)	1,602			96430		
Хром (Cr)	1,619			97500		

Как следует из таблицы, результаты измерений, в целом, согласуются с табличными данными и метод электролиза водных растворов солей может быть использован для определения значений электрических констант.

#### Литература

1. Глинка, Н. Л. Общая химия / Н. Л. Глинка. – М.: Интеграл-Пресс, 2003. – 728 с.
2. Ким, Д. Б. Физика. Электричество и электромагнетизм: лабораторный практикум / Д. Б. Ким, А. А. Кропотов, Л. А. Герашенко. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. – 144 с.
3. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Академия, 2009. – 719 с.: ил.

Виногорова В. А., Семенова Е. А., Пантелеев П. Г.

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

Целищева Л. В., канд. техн. наук, доцент; Кречетова И. В., ст. преп.;

Ладычук Д. В., канд. хим. наук, доцент

*Поволжский государственный технологический университет*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА СИЛ ТРЕНИЯ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

**Аннотация.** Приводится методика определения момента сил трения с помощью экспериментальной установки «Маятник Обербека». Проводится исследование вращения маятника по нахождению момента инерции, оценивается влияние трения на движение.

**Ключевые слова:** момент сил трения, основной закон динамики вращательного движения, маятник Обербека.

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела с моментом инерции  $I$  вокруг неподвижной оси  $z$  имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{1}{I} M, \quad (1)$$

где  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$  – угловое ускорение тела,  $M$  – суммарный момент внешних сил относительно неподвижной оси [1]. Исследовать уравнение (1) удобно с помощью прибора, представленного на рис. 1.

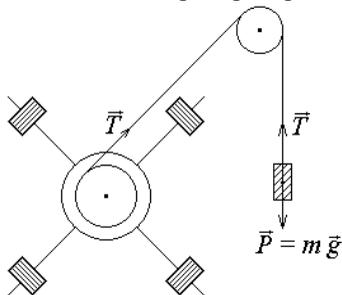


Рис. 1. Экспериментальная установка «Маятник Обербека»

На четырех взаимно перпендикулярных стержнях закреплены одинаковые по форме и массе цилиндрические грузы, положение которых можно менять. Положение грузов на разных расстояниях от оси вращения позволяет задавать различные моменты инерции маховика.

На горизонтальной оси маховика имеются два шкива различного диаметра, на один из которых наматывается нить, перекинута через неподвижный блок.

К свободному концу нити подвешивается груз массой  $m$ . Сила натяжения нити создает постоянный по величине вращательный момент, под действием которого маховик приводится во вращательное движение.

При этом изменение  $M$  осуществляли изменением массы подвешиваемого груза, а изменение  $I$  – путем изменения положения грузов вдоль оси маховика. С целью определения момента сил трения с помощью маятника Обербека, в лабораторном практикуме студентами осуществлялась экспериментальная проверка основного закона динамики вращательного движения. При этом решались задачи: при неизменном значении момента инерции маховика изучалась зависимость его углового ускорения  $\epsilon$  от величины вращающего момента  $M$  [1]. Формула (1) лежит в основе экспериментального определения момента инерции маятника в данной работе. Для этого измерялось угловое ускорение  $\epsilon$  при различных значениях вращающего момента  $M$  силы натяжения нити.

Затем строился график зависимости  $\epsilon(M)$  (рис. 2), который при малом трении изображается прямой линией (пунктирная красная линия). Угловым коэффициентом этой прямой равен, как следует из формулы (1), обратной величине момента инерции, т. е.  $1/I$  ( $\text{tg}\alpha = 1/I$ ). В реальных условиях присутствует с трудом учитываемый момент сил трения покоя  $M_{\text{тр}}$ , вследствие чего зависимость  $\epsilon(M)$  не проходит через начало координат.

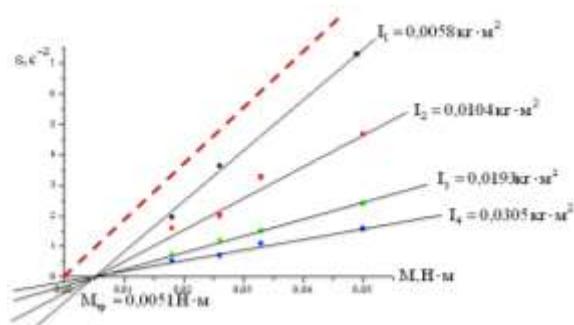


Рис. 2. Зависимость момента сил натяжения нитей от углового ускорения для разных моментов инерции маятника Обербека

ного движения твердого тела. В этом случае линейное представление экспериментальной зависимости  $\epsilon(M)$  позволяет, во-первых, по угловому коэффициенту прямой найти момент инерции [1], во-вторых, с помощью экстраполяции этой прямой до пересечения с осью абсцисс оценить среднюю величину момента сил трения  $M_{\text{тр}}$ , которая получилась равной 0,0051 Н·м.

Однако, если данные измерений вращающего момента  $M$  и соответствующего углового ускорения тела могут быть представлены линейной зависимостью (сплошные линии на рис. 2), то можно сделать вывод о справедливости основного закона динамики вращательного

## Литература

1. Механика: методические указания к выполнению лабораторных работ по физике для студентов 1, 2 курсов всех специальностей / сост. Г. Н. Косова и др. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 62 с.

УДК 621.454

Губин Н. А., Щербаков Р. В.

Научный руководитель: Кречетова И. В., ст. преп.

*Поволжский государственный технологический университет*

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ПЛАЗМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Аннотация.* Представлены принципы работы космических ракетных двигателей и разработки новых плазменных космических ракетных двигателей.

**Ключевые слова:** освоение космоса, ракетный двигатель, проект HyperV, электромагнитный ускоритель.

«Ракета сама собой не полетит» – эту фразу приписывают многим известным ученым. О перспективах развития ракетных двигателей упоминается в работах К. Э. Циолковского [5], С. П. Королева [4], Вернера фон Брауна [6] и многих других. Считается, что еще в древности идею полета ракеты сформулировал изобретатель Архимед, но даже он не представлял себе, как заставить ее полететь [3].



Различают следующие типы двигателей:

– электротермические ракетные двигатели (ЭТД);

– электростатические двигатели (ИД, СПД);

– сильноточные (электромагнитные, магнитодинамические) двигатели;

– импульсные двигатели (рис. 1).

Новые программы освоения космоса требуют разработки более совершенных двигателей. Перед конструктором ставятся задачи: уменьшение массы двигателя, увеличение тяги, повышение экономичности. Сейчас это стало не простым стремлением сделать лучше, а необходимым условием для будущих пилотируемых миссий и доставки научной аппаратуры к другим планетам в разумные сроки [1].

Рассмотрим технические решения, которые будут внедрены в отдалённой перспективе.

С движением мы сталкиваемся ежедневно и привыкли к нему настолько, что не слишком задумываемся о его природе. В обычных условиях всегда есть какая-то среда и возможность взаимодействовать с ней. Ноги и колёса автомобиля отталкиваются от твёрдой поверхности дороги, гребной винт лодки увлекает воду, а турбина самолёта – воздух. Отсутствие привычной среды в космосе не даёт столь богатых возможностей.

Независимо от типа в ракетных двигателях «рабочим телом» принято называть то, что покидает сопло на большой скорости. Для разгонных блоков ракет-носителей это продукты сгорания топлива, для ионных двигателей спутников – ионизированный газ. Во всех случаях время работы двигателя ограничено имеющимся на борту запасом вещества, используемого при создании реактивной тяги.

Для вывода спутника на орбиту Земли и отправки автоматических межпланетных станций (АМС) за её пределы двигатель ракеты-носителя должен обеспечить тягу в сотни и тысячи килоньютон, но ему достаточно проработать несколько минут. Самим космическим аппаратам вне гравитационного поля планеты достаточно тяги в доли ньютон, но эксплуатироваться их двигатели будут годами. Пока даже на одном приходится использовать несколько разных типов двигателей в качестве маршевых и корректирующих [1].

В рамках проекта HyperV были собраны через Kickstarter средства на доработку импульсного плазменного двигателя. В качестве рабочего тела годятся практически любые газы. Сам двигатель обещает быть гораздо дешевле в производстве и эксплуатации, чем имеющиеся аналоги. Главное преимущество заключается в универсальности: за счёт регулирования соотношения тяги к удельному импульсу один двигатель можно использовать для разных задач.

Другим перспективным проектом является разработка электромагнитного ускорителя с изменяемым удельным импульсом (в англоязычной литературе – VASIMR). Рабочее тело (аргон) ионизируется радиоволнами, и полученная плазма затем разгоняется в электромагнитном поле, создавая реактивную тягу (рис. 2).

Впервые идея появилась в 1979 году, и сегодня она близка к воплощению. Такой двигатель был бы крайне востребован в системе орбитального и межпланетного транспорта. Для начала «космический буксир» мог бы перемещать многотонные грузы между орбитами Земли и Луны [2].

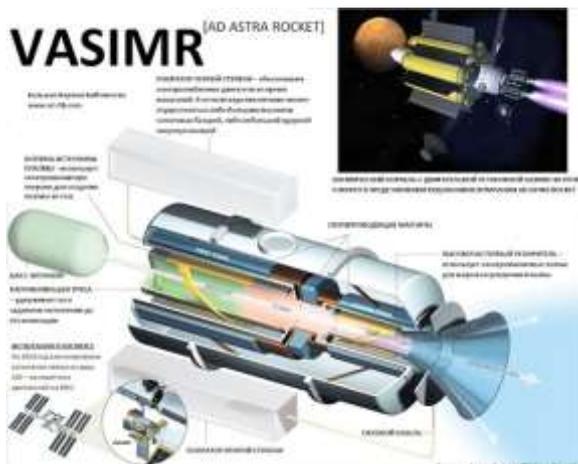


Рис. 2

Мы считаем актуальной проблему разработки плазменных космических ракетных двигателей, и ее решение встанет в один ряд среди новейших технологических достижений в космической области. Сегодня, как никогда, космические аппараты важны для развития науки и общества во всем мире. Необходимо, чтобы наука продвигалась в данной сфере деятельности освоения космоса. Чем больше мы знаем о космосе, тем становимся ближе к освоению Вселенной.

#### Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/> (дата обращения 29.03.2020).
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tass.ru/> (дата обращения 29.03.2020).
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (дата обращения 29.03.2020).
4. Келдыш, М. В. Творческое наследие академика Сергея Павловича Королева. Избранные труды и документы / М. В. Келдыш. – М.: Наука, 1980. – 591 с.
5. Циолковский, К. Э. Космические ракетные поезда / К. Э. Циолковский. – Калуга: Коллектив секции научных работников, 1929. – 38 с.

6. Цисарский, А. Д. Разработка механизмов и инструментария проектного менеджмента при создании ракетно-космической техники: Дисс. ... доктора экономических наук: 08.00.05 / Цисарский Александр Дмитриевич [Место защиты: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана]. – М., 2018. – 299 с.: ил.

УДК 537.2

Девятова Д. А.

Научные руководители: Кречетова И. В., ст. преп.; Целищева Л. В., канд. техн. наук, доцент; Андреева Л. А., ст. преп.

*Поволжский государственный технологический университет*

## СЕРДЦЕ КАК ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ

**Аннотация.** *Приводится описание сердца как электрического диполя.*

**Ключевые слова:** *сердце, электрический диполь, эквипотенциальные поверхности электрического диполя, ЭДС сердца.*

Работа сердечной мышцы – это электрический процесс, постоянно текущий в организме. Пространство, в котором наблюдается действие электрических сил, называется электрическим полем, которое подразумевает существование двух зарядов – положительного и отрицательного – такой тандем зарядов называется электрическим диполем. Как известно, диполь – идеализированная система, служащая для приближённого описания распространения поля. Типичным примером диполя служат два заряда, равных по величине и противоположных по знаку, находящихся на очень малом расстоянии друг от друга, по сравнению с расстоянием до точки наблюдения [1].

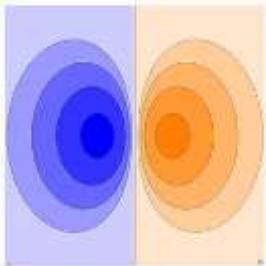


Рис. 1. Эквипотенциальные поверхности электрического диполя

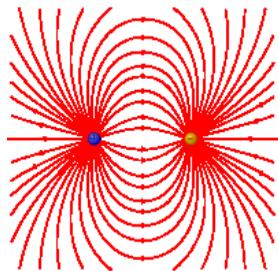


Рис. 2. Силовые линии электрического диполя

Источником электрического поля сердца являются электрические заряды – ионы, распределенные сложным образом в клетках и межклеточном пространстве миокарда. Картина эквипотенциальных линий электрического поля изображена на рис. 3 (в момент сокращения желудочков). Вид этих линий напоминает поле, создаваемое электрическим диполем (рис. 4) [2].

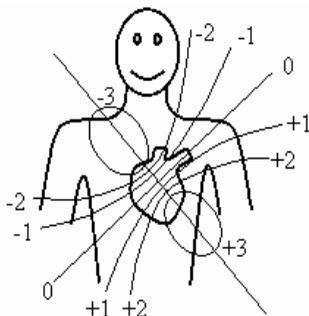


Рис. 3. Картина эквипотенциальных линий электрического поля

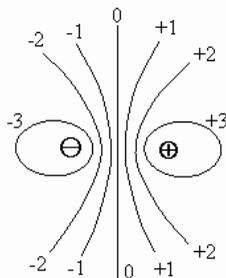


Рис. 4. Поле, создаваемое электрическим диполем

Электрический диполь создает разность потенциалов. Для протекания тока в любой электрической цепи необходима внешняя сила неэлектростатической природы. Так, электрический ток, который мы извлекаем в бытовых условиях из электрической розетки – по природе, это энергия падающей воды на ГЭС, или энергия расщепляемого атома на АЭС, или тепловая энергия угля на ТЭЦ. Электрический ток, получаемый в автомобиле – это энергия химических превращений в аккумуляторе, или энергия сжигаемого бензина в двигателе. Электрический ток, заставляющий работать наше сердце, получается в результате биохимических процессов, постоянно текущих в организме [2].

Величина, характеризующая источник энергии неэлектростатической природы в электрической цепи, необходимый для поддержания в ней электрического тока, называется электродвижущей силой (ЭДС). ЭДС является векторной величиной, т. к. характеризуется величиной и направлением в пространстве. Изображается ЭДС в виде прямой со стрелкой на конце. Длина этой прямой характеризует величину ЭДС, а местоположение в пространстве – направление (рис. 5).

Основоположник электрокардиографии Вильям Эйнтховен рассматривал сердце, как источник электрического тока (во время возбуждения которого в организме образуется электрическое поле), расположенный в

центре треугольника, ограниченного правой и левой рукой, и левой ногой (треугольник Эйнтховена (рис. 6)) [3].

Сердце человека – это мощная мышца. При синхронном возбуждении волокон сердечной мышцы, в среде, окружающей сердце, течет ток, который даже на поверхности тела создает разности потенциалов в несколько мВ. Эта разность потенциалов регистрируется при записи электрокардиограммы. Моделировать электрическую активность сердца можно с использованием дипольного электрического генератора.

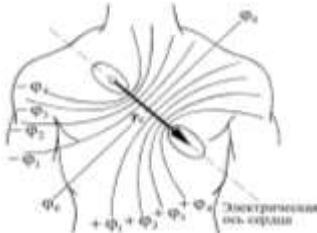


Рис. 5. Распределение эквипотенциальных линий на поверхности тела

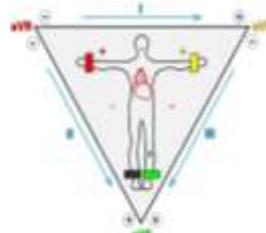


Рис. 6. Треугольник Эйнтховена

Дипольное представление о сердце лежит в основе теории отведений Эйнтховена, согласно которой, сердце – это токовый диполь с дипольным моментом  $P_c$  (электрический вектор сердца), который поворачивается, изменяет свое положение и точку приложения за время сердечного цикла. Построение треугольника Эйнтховена [4] позволяет определить угол отклонения оси сердца, что в свою очередь помогает вовремя заподозрить проблему, возникшую в сердце. Порой резкое изменение оси в ту или иную сторону требует применения других методов обследования для выявления причины этих изменений. Таким образом, знание о треугольнике Эйнтховена, о принципах его построения позволяет правильно наложить и подключить электроды [5], провести своевременную диагностику, выявить изменения на ЭКГ в максимально быстрые сроки. Знание основ ЭКГ поможет спасти множество жизней.

#### Литература

1. Савельев, И. В. Курс общей физики: в 3 т. – Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И. В. Савельев. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 500 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/98246>

2. Антонов, В. Ф. Физика и биофизика: учебник для вузов / В. Ф. Антонов, А. М. Черныш и др.; под ред. В. Ф. Антонова. – М.: ГЭОТАР – Медиа, 2007. – 472 с.
3. Герасимов, А. Н. Медицинская статистика: учебное пособие / А. Н. Герасимов. – М.: МИА, 2007. – 475 с.
4. Павлушков, И. В. Основы высшей математики с математической статистикой: учебник для мед. и фармацевт. вузов / И. В. Павлушков. – Изд. 2-е исправ. – М.: ГЭОТАР – Медиа, 2007. – 422 с.
5. Черныш, А. М. Физика и биофизика. Практикум: учебное пособие для вузов / А. М. Черныш. – М.: ГЭОТАР – Медиа, 2008. – 333 с.

УДК 536.631

Макаров К. И., Силиваева А. А., Ялдайкина Ю. А.  
Научные руководители: Ладычук Д. В., канд. хим. наук, доцент;  
Целищева Л. В., канд. техн. наук, доцент  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ КАЛОРИМЕТРИИ**

***Аннотация.** Метод калориметрии использован для определения удельной теплоемкости металлов.*

***Ключевые слова:** удельная теплоемкость, теплообмен, калориметрия.*

Измерения теплоёмкости и её зависимости от температуры играют большую роль в исследовании твёрдых тел. Это связано с тем, что теплоёмкость непосредственно определяется колебаниями атомов в кристаллической решётке. Характер этих колебаний должен зависеть от структуры решётки, её симметрии и других параметров. Вследствие этого во многих случаях превращения, которые могут происходить в веществе, сопровождаются различными аномалиями теплоёмкости [1, 2].

В системе тел, нагретых до разных температур, происходит теплообмен – самопроизвольный необратимый процесс передачи энергии между телами или участками внутри тела, обусловленный градиентом температуры. Согласно второму началу термодинамики теплота переносится от более нагретого тела к менее нагретому. Теплообмен всегда ведет к выравниванию температур тела, и тем самым достигается тепловое равновесие. При теплообмене изменение внутренней энергии тела определяется только подведенным количеством теплоты. Для исследо-

вания процессов при теплообмене применяются калориметры – приборы, позволяющие свести к минимуму потери внутренней энергии [3].

Количество теплоты, полученное или отданное телом при теплообмене, прямо пропорционально массе тела  $m$  и изменению его температуры  $\Delta T$ .

$$Q = c * m * \Delta T.$$

В качестве коэффициента пропорциональности используется удельная теплоемкость вещества  $c$ .

Согласно закону сохранения энергии для теплообмена, суммарное количество теплоты  $Q^{отдан}$ , отданное при теплообмене всеми охлаждаемыми телами замкнутой системы, равно сумме количеств теплоты, полученными всеми нагревающимися телами  $Q_i^{получ}$ . В результате уравнение теплового баланса имеет вид:

$$\left( \sum_j Q_j \right)^{отдан} = \left( \sum_i Q_i \right)^{получ}.$$

Работа выполнена с помощью flash-анимации физической экспериментальной установки. В методе для сравнения теплоемкостей различных тел использовались 2 калориметра, прибор для определения количества теплоты и 2 термометра. Каждый из калориметров представлял собой два сосуда цилиндрической формы, вставленных один в другой, с воздушной прослойкой для уменьшения отдачи теплоты окружающему пространству. В качестве исследуемых образцов использовались металлы – цинк, железо, алюминий, олово и свинец. В первый калориметр помещался исследуемый образец, заливался определенный объем воды известной температуры, после чего происходил нагрев системы. После нагрева до определенной температуры образец помещался во второй калориметр с холодной водой, имеющей температуру, близкую к комнатной, и выдерживался в нем до установления теплового равновесия, т. е. до достижения водой и образцом одинаковых значений температур. По измеренной установившейся конечной температуре в калориметре и остальным данным можно рассчитать удельную теплоемкость исследуемого материала. Поскольку образец при остывании отдает ровно такое же количество теплоты, что и получает вода при нагревании, то в системе происходит теплообмен.

Таким образом, для нагрева воды потребуется количество теплоты:

$$Q_1 = c_e * m_e * (t_k - t_{xв}) + c_k * m_k * (t_k - t_{xв}),$$

где  $c_e$  и  $c_k$  – удельная теплоемкость воды ( $c_e=4200$  Дж/(кг\* $^{\circ}$ C)) и калориметра соответственно, Дж/кг\* $^{\circ}$ C;  $m_e$  и  $m_k$  – масса воды и калориметра

соответственно, кг;  $t_k$  и  $t_{хв}$  – установившаяся конечная температура воды и образца и начальная температура холодной воды соответственно, °С.

При остывании исследуемого образца выделяется количество теплоты:

$$Q_2 = c_T * m_T * (t_T - t_k),$$

где  $c_T$  и  $m_T$  – удельная теплоемкость, Дж/кг\*°С (искомая величина) и масса образца, кг, соответственно;  $t_T$  и  $t_k$  – температура горячей воды (начальная температура образца) и установившаяся конечная температура воды и образца соответственно, °С.

Вследствие процесса теплообмена между холодной водой и образцом их количества теплоты равны:

$$Q_1 = Q_2.$$

Следовательно, удельную теплоемкость образца можно определить по формуле:

$$c_T = \frac{(c_в * m_в + m_к * c_к)(t_k - t_{хв})}{m_T * (t_T - t_k)}.$$

Для каждого образца проводилось по пять параллельных опытов при различных параметрах системы. В табл. 1 и 2 соответственно приведены параметры системы и результаты измерений.

Таблица 1

Параметр	Диапазон изменений
Масса воды $m_в$ , кг	1,0–1,5
Масса calorиметра $m_к$ , кг	0,1–0,3
Масса образца $m_T$ , кг	0,4–0,6
Удельная теплоемкость calorиметра $c_к$ , Дж/кг*°С	100–150
Начальная температура холодной воды $t_{хв}$ , °С	15–25
Температура горячей воды (начальная температура образца) $t_T$ , °С	85–95

Таблица 2

Материал	$c_{эксп.ср}$ , Дж/(кг*°С <sup>0</sup> )	$c_{табл}$ , Дж/(кг*°С <sup>0</sup> )	$\Delta c$ , Дж/(кг*°С <sup>0</sup> )	$\varepsilon$ , %
Цинк (Zn)	408	400	8	2,0
Железо (Fe)	472	460	12	2,6
Алюминий (Al)	930	920	10	1,1
Олово (Sn)	234	230	4	1,7
Свинец (Pb)	147	140	7	5,0

Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о том, что результаты опытов хорошо согласуются со справочными значениям удельных теплоемкостей исследованных материалов. Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения метода калориметрии для определения теплоемкости твердых тел, в частности, металлов.

#### Литература

1. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М.: Академия, 2008. – 557 с..
2. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Академия, 2009. – 719 с.: ил.
3. Иродов, И. Е. Физика макросистем. Основные законы / И. Е. Иродов. – М.: Лаборатория знаний, 2008. – 208 с.

УДК 531.3

Семенова Е. А., Лучников И. П., Леонтьев Д. Р.

Научные руководители: Гогелашвили Г. Ш., канд. хим. наук, доцент;  
Целищева Л. В., канд. техн. наук, доцент; Кречетова И. В., ст. преп.

*Поволжский государственный технологический университет*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КПД МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА ОТ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ**

***Аннотация.** Представлены данные лабораторного исследования зависимости КПД маятника Обербека от момента инерции.*

***Ключевые слова:** момент инерции, КПД, маятник Обербека.*

При использовании механизмов всегда совершается работа, которая превышает работу, необходимую для достижения поставленной цели, поэтому различают полную (или затраченную) работу –  $A_z$  и полезную работу –  $A_n$ . Для нахождения КПД механизма необходимо полезную работу поделить на работу, которая была затрачена при использовании данного механизма:  $\eta = \frac{A_n}{A_z} \cdot 100\%$ . КПД любого механизма всегда меньше

100%. Поэтому, конструируя механизмы, стремятся увеличить их КПД, для чего уменьшают трение в осях механизмов и их вес [1]. Исследование зависимости КПД маятника Обербека от момента инерции осуществлялось на экспериментальной установке маятник Обербека (рис. 1).

На четырех взаимно перпендикулярных стержнях закреплены одинаковые по размеру и массе цилиндрические грузы, положение которых менялось; при этом изменялся момент инерции маховика (данные представлены в таблице).

На горизонтальной оси маховика имеются два шкива различного диаметра, на каждый из которых поочередно наматывалась нить, перекинутая через неподвижный блок. К свободному концу нити подвешивался груз массой  $m$ . Сила натяжения нити создавала постоянный по величине вращательный момент, под действием которого маховик приводился во вращательное движение [2].

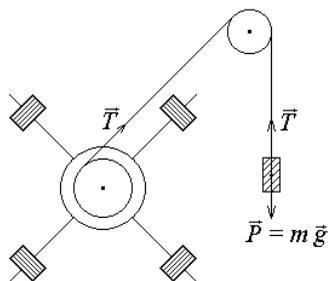


Рис. 1. Экспериментальная установка «Маятник Обербека»

m, кг	d, м	h, м	t, с	t <sub>ср.</sub> , с	R, м	$\varepsilon, \text{с}^{-2}$	M, Н·м	I, кг·м <sup>2</sup>	$\gamma_{\text{ср}}$
0,2	0,018	1,02	10,71	10,69	0,028	1,94	0,018	0,0058	0,79
			10,68						
			10,51						
			10,83						
			10,72						
0,3	0,018	1,02	7,82	7,82	0,028	3,63	0,026		
			7,79						
			7,85						
			7,83						
			7,81						
0,2	0,034	1,02	4,71	4,72	0,028	3,28	0,033		
			4,68						
			4,75						
			4,76						
			4,70						
0,3	0,034	1,02	4,00	4,01	0,028	7,30	0,049		
			4,02						
			3,99						
			4,05						
			4,01						
0,2	0,018	1,02	11,79	11,80	0,09	1,60	0,018	0,0104	0,81
			11,82						
			11,75						
			11,77						
			11,87						
0,3	0,018	1,02	10,54	10,53	0,09	2,00	0,026		
			10,62						
			10,50						
			10,49						
			10,51						

## Окончание таблицы

0,2	0,034	1,02	6,04 5,98 5,93 6,07 6,05	6,01	0,09	3,25	0,033		
0,3	0,034	1,02	5,04 5,08 4,97 5,07 4,93	5,02	0,09	4,67	0,050		
0,2	0,018	1,02	17,28 17,26 17,31 17,33 17,21	17,28	0,16	0,74	0,018	0,0193	0,86
0,3	0,018	1,02	13,63 13,58 13,67 13,60 13,59	13,61	0,16	1,20	0,026		
0,2	0,034	1,02	8,87 8,85 8,89 8,83 8,78	8,85	0,16	1,50	0,033		
0,3	0,034	1,02	7,03 6,93 7,05 6,98 7,01	7,00	0,16	2,40	0,050		
0,2	0,018	1,02	20,77 20,73 20,79 20,76 20,69	20,75	0,22	0,52	0,018	0,0305	0,89
0,3	0,018	1,02	17,70 17,68 17,63 17,65 17,69	17,69	0,22	0,71	0,026		
0,2	0,034	1,02	10,34 10,31 10,37 10,33 10,41	10,35	0,22	1,10	0,033		
0,3	0,034	1,02	8,66 8,63 8,69 8,64 8,61	8,65	0,22	1,57	0,050		

Все расчеты выполнялись согласно данным, представленным в работе [3]. По величине параметра  $\gamma$ , представленном в табл. 1, можно сделать вывод, что механическая система, используемая в данной работе является диссипативной.

Такие потери можно объяснить наличием диссипативных сил трения качения, скольжения и сопротивления воздуха. Из графика зависимости  $\gamma_{\text{ср}}$  от момента инерции  $I$  (рис. 2) следует, что возрастание момента инерции вызывает увеличение  $\eta$ . КПД маятника Обербека, как показывают экспериментальные данные, изменяется от 79 до 89%.

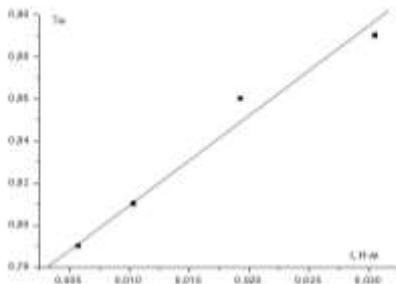


Рис. 2. График зависимости  $\gamma_{\text{ср}}$  от момента инерции маятника Обербека

#### Литература

1. Громов, С. В. Физика: учеб. для 7 кл. общеобразоват. учреждений / С. В. Громов, Н. А. Родина. – 4-е изд. – М.: Просвещение, 2002. – 158 с.: ил.
2. Механика: методические указания к выполнению лабораторных работ по физике для студентов 1,2 курсов всех специальностей / сост. Г. Н. Косова и др. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 62 с.
3. Проверка закона сохранения полной механической энергии на маятнике Обербека [текст] / М. Р. Апялиев, В. Ю. Архипов, К. В. Столярова и др. // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XI международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам. – Йошкар-Ола, ПГТУ, 2016. – С. 43-46.

УДК 621.378.8

Тетерина М. С., Решетова Е. В., Лачкова И. С.  
 Научные руководители: Ладычук Д. В., канд. хим. наук, доцент;  
 Кречетова И. В., ст. преп.  
*Поволжский государственный технологический университет*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА

*Аннотация.* Дифракционный метод с использованием полупроводникового лазера применен для определения постоянной Планка.

**Ключевые слова:** полупроводники, *p-n*-переход, лазеры, дифракция.

Известно, что в полупроводниковых лазерах излучение так же, как и в светодиодах, порождается рекомбинацией электронов и дырок. Однако в отличие от светодиодов, эта рекомбинация вынужденная и излучение при ней является когерентным. Для преобладания вынужденной рекомбинации над поглощением квантов света необходимо, чтобы верхние энергетические уровни были более заполнены электронами, чем нижние (реализуется состояние инверсии населенности). Инверсную населенность можно создать несколькими способами, в том числе, при бомбардировке полупроводника пучком быстрых электронов с помощью оптической накачки и эффектов сильного электрического поля [1].

Среди всех видов создания инверсной населённости наиболее практичным является инжекция носителей заряда при прямом включении *p-n*-перехода. Она наблюдается в инжекционных лазерах, с *p-n*-переходом, изготовленных из GaAs, GaAs<sub>x</sub>P<sub>1-x</sub>, InP с примесями Te, Se, Zn, Cd и других материалов, в случае вырождения одной из областей диодной структуры (т. е. при содержании большой концентрации примеси). При прямом включении *p-n*-перехода прямой ток состоит из двух составляющих – электронной и дырочной. При прохождении большого тока через *p-n* переход условие инверсной населенности выполняется с большим запасом. Минимальный ток, при котором начинает преобладать вынужденная рекомбинация, называется пороговым током. При величине тока, проходящего через *p-n*-переход, больше порогового *p-n* переход является усиливающей средой для света, распространяющегося в плоскости *p-n* перехода. Количество актов вынужденной рекомбинации увеличивается при обеспечении прохождения каждого кванта света несколько раз в плоскости *p-n* перехода [2].

Как известно, разрешенные значения энергии электронов в атоме отделены друг от друга широкими областями запрещенных энергий. При объединении атомов в твердое тело энергетические состояния электронов изолированных атомов изменяются. Вместо разрешенных энергетических уровней возникают энергетические полосы, или зоны разрешенных значений энергии, которые по-прежнему остаются отделенными друг от друга областями, соответствующими запрещенным значениям энергии. В наибольшей степени это касается внешних, валентных электронов, которые слабее связаны со своими ядрами [3].

В примесных полупроводниках, как электронных, так и дырочных, переход электрона из одной зоны в другую осуществляется под воздействием электрического поля источника тока. Обратный процесс перехода электрона может сопровождаться излучением кванта света.

Для совершения электроном перехода в разрешенное состояние с более высокой энергией он должен приобрести в электрическом поле энергию, равную ширине запрещенной зоны. Так как энергия, приобретаемая электроном в электрическом поле, соответствует энергии фотона, излучаемого при обратном переходе электрона в нижнее энергетическое состояние с энергией также приблизительно равной ширине запрещенной зоны, то:

$$h\nu = eU, \quad (1)$$

где  $h$  – постоянная Планка,  $\nu$  – частота света, излучаемого полупроводниковым переходом,  $e$  – заряд электрона ( $e=1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл),  $U$  – напряжение, приложенное к  $p$ - $n$ -переходу.

Таким образом, для определения постоянной Планка необходимо измерить длину волны излучаемого полупроводниковым прибором света и измерить напряжение, при котором  $p$ - $n$ -переход начинает излучать световые кванты:

$$h = \frac{eU}{\nu} = \frac{eU\lambda}{c}, \quad (2)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме ( $c=3 \cdot 10^8$  м/с),  $\lambda$  – длина волны света, излучаемого полупроводниковым переходом.

Длина волны излучения для лазера может быть определена с помощью дифракционной решетки с известным периодом  $d$ . Ее можно вычислить с учетом условия максимума для дифракции и малых значений угла отклонения лучей от первоначального распространения:

$$\lambda = \frac{da_{cp}}{kL}, \quad (3)$$

где  $d$  – постоянная (период) решетки,  $k$  – порядок максимума дифракции,  $a_{cp}$  – среднее расстояние от центрального максимума ( $k=0$ ) до максимума  $k$ -го порядка (среднее арифметическое отсчета справа и слева от центрального максимума),  $L$  – расстояние между дифракционной решеткой и экраном, на котором наблюдается дифракционная картина.

Работа выполнена с помощью flash-анимации физической экспериментальной установки. Измерения проводились при  $U=5$  В, период решетки  $d=10^{-5}$  м. Длина волны излучения лазера  $\lambda$  и постоянная Планка  $h$  рассчитывались по формулам (3) и (2) соответственно. В формуле (2) в качестве  $U$  использовалось значение порогового напряжения включения лазерного диода  $U_{порог}=1,9$  В, при котором еще возможно наблюдение дифракционной картины. Условия и результаты измерений приведены в таблице.

### Условия и результаты измерений

k	L, м	$a_{\text{ср}} * 10^{-3}$ , м	$\lambda * 10^{-9}$ , м	$h_{\text{изм}} * 10^{-34}$ Дж*с	$h_{\text{изм ср}} * 10^{-34}$ Дж*с	$h_{\text{табл}} * 10^{-34}$ Дж*с	$\varepsilon$ , %		
1	0,2	13,00	650,0	6,59	6,67	6,62	0,8		
2		26,50	662,5	6,71					
3		39,75	662,5	6,71					
1	0,3	19,50	650,0	6,59	6,59		6,62	0,5	
2		39,75	654,2	6,63					
3		58,25	647,2	6,56					
1	0,4	26,25	656,3	6,65	6,60			6,62	0,3
2		52,00	650,0	6,59					
3		77,75	647,9	6,57					
1	0,5	32,75	655,0	6,64	6,61	6,62			0,2
2		64,75	647,5	6,56					
3		98,00	653,3	6,62					
1	0,6	39,00	650,0	6,59	6,57		6,62		0,8
2		77,75	647,9	6,56					
3		116,75	648,6	6,57					

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что экспериментальные значения постоянной Планка хорошо согласуются с табличной величиной. Таким образом, для ее определения может использоваться дифракционный метод с применением полупроводникового лазера.

### Литература

1. Елисеев, П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров / П. Г. Елисеев. – М.: Наука, 1983. – 283 с.
2. Крылов, К. И. Основы лазерной техники / К. И. Крылов, В. Т. Прокопенко, В. А. Тарлыков. – М.: Машиностроение, 1990. – 276 с.
3. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М.: Академия, 2008. – 557 с.

УДК 553.04

Андрианов Д. Ю.<sup>1</sup>, Меньших Н. А.<sup>1</sup>

Научный руководитель: Фищенко П. А.<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, доцент

<sup>1</sup>ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА»»

<sup>2</sup>Поволжский государственный технологический университет

## ДОСТАВКА РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОГРАНИЧНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЕ

*Аннотация.* Определение возможности дальности хода беспилотной снегоходной транспортной платформы при доставке расходных материалов в пограничной зоне в условиях Севера.

*Ключевые слова:* беспилотная транспортная платформа, граница, материалы.

**Актуальность.** Прогноз научно-технического развития России до 2030 года предусматривает дальнейшее развитие новых транспортных систем на основе обеспечения безопасности и экологичности их использования, а также развитие новых интеллектуальных технологий [1]. При развитии арктических и субарктических территорий стоит новая задача по разработке перспективных образцов транспортной техники и обеспечению их безопасной эксплуатации [2]. Предлагается создание беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести [3, 4, 5] и новая технология эксплуатации её в экстремальных природно-климатических условиях на акватории арктических морей и материковой зоны, в частности, в пограничной зоне РФ.

**Цель работы:** оценка возможности доставки расходных материалов в пограничной зоне РФ на беспилотной платформе в условиях Севера.

**Постановка задачи.** Пусть известны: схема движения (на рисунке показана «правая часть» обслуживаемого участка границы, содержащая  $k$ -тый пункт, наиболее удалённый от базы беспилотной платформы),  $q_1$  – расход топлива на 100 километров пути (единицы измерения: л/км – литр на километр);  $q_2$  – расход топлива на «холостом ходу», при прогреве двигателя, погрузке и разгрузке платформы (единицы измерения: л/час – литр за час работы на «холостом ходу»);  $t$  – общее время работы на «холостом ходу»;  $k_{атм}$  – «атмосферный» коэффициент, учитывающий атмосферные факторы (температура и влажность окружающего воздуха, усло-

вия полярной ночи, высота над уровнем моря, глубина и плотность снежного покрова в конкретном регионе и т. п.);  $k_{\text{сопр}}$  – «коэффициент сопротивления» движению, учитывающий нагрузку на платформу, наличие и вес буксируемого прицепа, скорость движения и техническое состояние платформы. Протяжённости «левой» и «правой» частей участка границы принимаются одинаковыми и равными  $L/2$  – половине длины контролируемого участка границы;  $S_1, S_2, S_3$  – расстояния от базы беспилотной платформы до ПКГ – пунктов контроля (визуального и иного) границы;  $R_i$  и  $\varphi_i$  – соответственно радиус обзора и угол обзора на  $i$ -том пункте контроля. Требуется оценить величину расхода топлива и вместе с тем возможность доставки расходных материалов в пограничной зоне северных территорий на беспилотных транспортных платформах.



Доставка расходных материалов в пограничной зоне на беспилотных платформах в условиях Севера

**Методология исследования.** Для решения поставленной задачи применяются методы математического моделирования.

**Решение задачи (содержание работы).** Пусть требуется обслуживать участок границы длиной  $L=200$  км,  $q_1=30$  л/100 км,  $q_2=10$  л/час,  $t=1,1$  часа,  $k_{\text{атм}}=1$ ,  $k_{\text{сопр}}=1$ .

Учитывая, что длина «правой» части равна 100 км и определяется соотношением  $100 = (L/2) = \max(S_1, S_2, \dots, S_k)$ , получаем, что допуска-

ется расстояние 100 км от базы платформы до наиболее удалённого пункта, а возвращение на базу может происходить по более короткому пути. При этом расход топлива на всём маршруте по «правой» части с возвращением на базу не превосходит величины  $2 \cdot (k_{атм} \cdot k_{сопр} \cdot L/2) \cdot q_1 + q_2 \cdot t = 2 \cdot (1 \cdot 1 \cdot 100) \cdot (30/100) + 10 \cdot 1,1 = 71$  л.

Следовательно, на борту платформы должно быть не менее 71 литра топлива для одного рейса, что вполне реально.

**Выводы и практические рекомендации.** Предлагаемое создание беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести [3, 4, 5] и новая технология эксплуатации её в экстремальных природно-климатических условиях, включая низкие температуры воздуха, сильные ветры и наличие снежного и ледяного покрова на акватории арктических морей и материковой зоны, в частности, в пограничной зоне РФ, могут быть реализованы.

*Работа выполнена в рамках гранта программы «УМНИК» ФСРМП в НТС, договор №15191ГУ/2020.*

#### Литература

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период 2020 года и дальнейшую перспективу. Указ ПРФ от 18.09.2008 г. (Пр-1969).
2. Андрианов, Д. Ю. Перспективы создания современной техники для социально-экономического развития северных территорий / Д. Ю. Андрианов, П. А. Фищенко // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы II Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 21-25 ноября 2016 г.): в 8 ч. – Ч. 1: Инжиниринговые технологии – взгляд в будущее современного производства. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. – С. 6-8.
3. Беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести. Патент на полезную модель №RU159557.
4. Андрианов, Д. Ю. Форма опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы / Д. Ю. Андрианов, П. А. Фищенко // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. – 2017. – № 5. – С. 209-306.
5. Андрианов, Д. Ю. Условие боковой устойчивости беспилотной транспортной платформы, движущейся по горизонтальной поверхности / Д. Ю. Андрианов, П. А. Фищенко // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы II Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 21-25 ноября 2016 г.): в 8 ч. – Ч. 1: Инжиниринговые технологии – взгляд в будущее современного производства. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. – С. 8-13.

Булдакова Ю. М., Кудрявцев С. Г.

Поволжский государственный технологический университет

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АНИЗОТРОПНОЙ ПОЛОСЫ И ЖЕСТКОГО ОСНОВАНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕНИЯ

**Аннотация.** Представлены результаты расчетов влияния коэффициента трения на величину и характер распределения напряжений в анизотропной полосе при взаимодействии с жестким основанием.

**Ключевые слова:** напряжения, анизотропия, упругость, полоса, трение.

Полоса бесконечной длины и постоянной высоты  $h$ , лежит на жестком основании (рис. 1). Материал полосы анизотропный с упругими характеристиками приведен в [1]. Ось  $x$  направим вдоль линии контакта тел, ось  $y$  – перпендикулярно линии. Положительные направления напряжений и перемещений показаны на рис. 1.

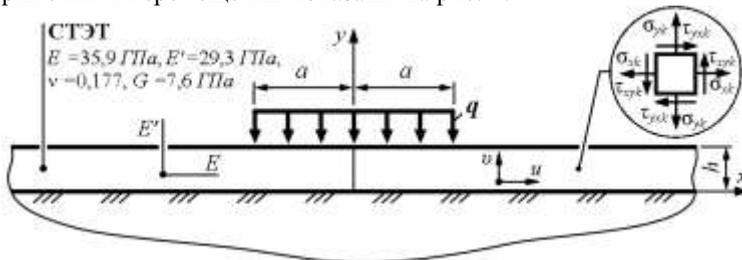


Рис. 1. Расчетная схема задачи

В работе [2] получены формулы для определения напряжений и перемещений в произвольной точке полосы, лежащей на жестком основании с учетом трения, когда на верхней плоскости действует сосредоточенная сила  $F=1$ . Исследуем, используя данные формулы, характер изменения напряжений в полосе при действии нормальной поверхностной нагрузки постоянной интенсивностью  $q$  на участке длиной  $2a$ .

На рисунках, представленных ниже, графики построены при отношении  $a/h=1$  для обобщенного плоского напряженного состояния (ширина полосы  $b=1$ ) в безразмерных параметрах

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

На рис. 2 и 3 приведены, в зависимости от значений коэффициента трения, графики изменения параметров  $\tilde{\sigma}_y$  и  $\tilde{\sigma}_x$  на границе контакта полосы и основания. Расчеты для варианта жесткого сцепления по линии контакта тел проведены по формулам, полученным в работе [3].

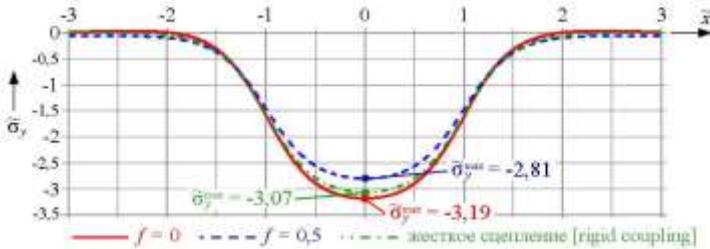


Рис. 2. Изменение параметра  $\tilde{\sigma}_y$  на линии контакта с основанием

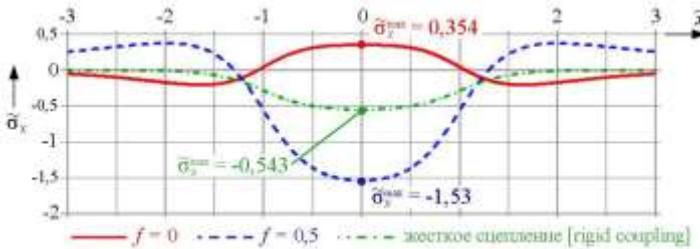


Рис. 3. Изменение параметра  $\tilde{\sigma}_x$  на линии контакта с основанием

Влияние коэффициента трения  $f$  на значение параметра  $\tilde{\sigma}_y^{\max}$  в середине высоты полосы и на нижней плоскости приведено на рис. 4а, на значение параметра  $\tilde{\sigma}_x(\tilde{x}=0)$  на рис. 4б.

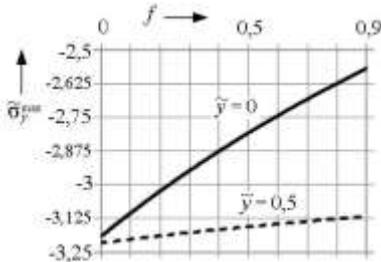


Рис. 4а. Изменение параметра  $\tilde{\sigma}_y^{\max}$  в зависимости от коэффициента трения  $f$

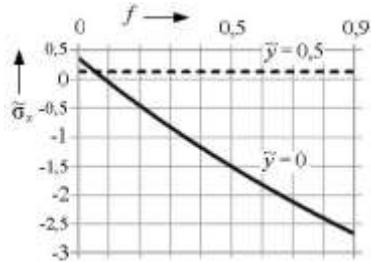


Рис. 4б. Изменение параметра  $\tilde{\sigma}_x$  в зависимости от коэффициента трения  $f$  при  $\tilde{x}=0$

Рис. 5 иллюстрирует распределение параметра  $\tilde{\tau}_{xy}$  в зависимости от коэффициента трения по высоте полосы.

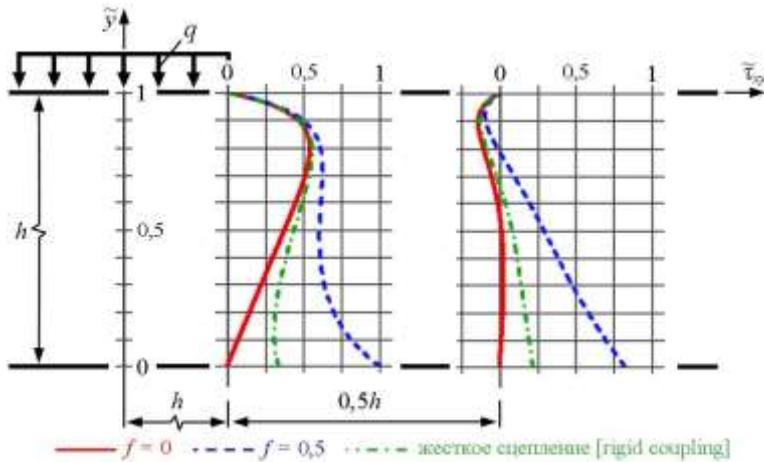


Рис. 5. Изменение параметра  $\tilde{\tau}_{xy}$  по высоте полосы

Анализ кривых показывает, что качественная картина и численные значения параметров напряжений зависят от условий сцепления между полосой и жестким основанием. При учете трения наибольшее отличие в характере изменения и значениях напряжений наблюдается в области, примыкающей к зоне контакта полосы и основания.

#### Литература

1. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела / С. Г. Лехницкий. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
2. Кудрявцев, С. Г. Влияние трения при взаимодействии анизотропной полосы и жесткого основания / С. Г. Кудрявцев, Ю. М. Булдакова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2020. – Т.16, №2. – С. 122-130.
3. 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.

Воробьева Е. Г., Пантелеева В. С.

Научный руководитель: Куликов Ю. А., д-р техн. наук, профессор  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ КРЫМСКОГО МОСТА**

*Аннотация.* Выполнен обзор публикаций. Рассмотрены особенности конструкции, описаны системы безопасности Крымского моста.

*Ключевые слова:* Крымский мост, проектирование, строительство, эксплуатация.

Мостовой переход, соединяющий Керченский полуостров Крыма и Таманский полуостров Кавказа, – уникальное инженерное сооружение, ставшее наиболее красивым и протяжённым в России: его длина составляет 19 км. Он включает две параллельные трассы – четырехполосный автомобильный и двухпутный железнодорожный мост. Начало строительства – февраль 2016 года, окончание автомобильного перехода – май 2018, железнодорожного перехода – декабрь 2019.

Предварительно рассматривались четыре варианта проекта, выбрали самый безопасный, по которому мостовой переход прошёл через Тузлинскую косу и остров Тузла. Остров имеет от 5 до 6,5 км в длину и 0,5 км в ширину. При больших штормах часть острова погружается под воду. При выборе трассы учитывались тектонические разломы и сейсмическая активность региона, а также особенности геологического строения: зыбкое дно и сжимаемость газонасыщенных глинистых грунтов.

Основные параметры конструкций назначались с учётом данных геологических исследований и результатов математического и физического моделирования. Расчётные динамические нагрузки соответствуют 9-балльным подземным толчкам, которые практически не встречаются в данном регионе. Требования к обеспечению сейсмической устойчивости стали определяющим фактором для погружения свай на глубину до 90 метров. Для уменьшения усадочного эффекта и повышения жёсткости сваи загоняли не вертикально, а под определёнными углами.

Модель участка моста в масштабе 1:50 напечатали на 3D-принтере и «продули» в аэродинамической трубе при силе ветра с порывами до 56 м/с. Это соответствует экстремальным штормовым условиям. Для сни-

жения ветровых нагрузок на арочных пролётах установлены аэродинамические обтекатели для срыва воздушных потоков.

В ходе исследований были установлены виды ледовых нагрузок, определены усилия на опоры при температурном расширении льда и при напоре льдов в условиях ледохода из Азовского моря в Чёрное море. В опытном бассейне научного центра им. А. Н. Крылова (С.-Петербург) были проведены испытания на прочность опор моста на моделях. Имитировались различные ледовые режимы путём пропуска между опорами ледяных полей и гряд торосов.

Мост насчитывает 595 опор, каждая из которых установлена на свайный фундамент. Его образуют порядка 7000 свай различных характеристик и глубиной погружения. Использовались висячие призматические, буронабивные и трубчатые сваи. Для наиболее опасных участков применялись металлические сваи диаметром 1420 мм с глубиной погружения в грунт до 94 м. При забивке свай использовались вибропогружатели и гидромолоты.

Над фарватером судоходного Керчь-Еникальского канала, глубина которого 8 м, установлены специальные арочные пролёты длиной 227 м (остальные пролёты балочные). Высота арок в высшей точке – 45 м от нижнего пояса (80 м от зеркала воды). Подмостовой габарит шириной 185 м и высотой 35 м обеспечивает пропуск судов всех типов.

Автодорожный арочный пролет – это комбинация затяжки и арочного свода, который поддерживает затяжку при помощи гибких подвесок. Вес арки около 5 000 т, ширина – 30 м внизу, 15 м – в верхней части. Она окрашена антикоррозийной краской сигнального белого цвета. Для защиты от коррозии ушло более 46 000 литров краски.

К железнодорожной арке предъявляются повышенные требования по жёсткости. Для этого разработана комбинированная конструкция пролёта со сквозными главными фермами и аркой. Их сборка велась на керченском берегу, было выполнено 3,6 км стыковых швов, закручено 175 тысяч штук (или 110 т) высокопрочных болтов. Связь нижнего пояса с арочным сводом обеспечивают гибкие подвески – цельные канаты диаметром 6 см, изготовленные из высокопрочной стальной проволоки с использованием технологии горячего оцинкования.

На арках смонтированы смотровые ходы, кабеленесущие конструкции, молниезащита и заземление, элементы системы мониторинга, аэронавигационная и судовая сигнализации.

Оба арочных пролета, железнодорожный и автодорожный, установлены в 2017 году во время уникальных морских операций. Конструкцию весом более 6 000 т поднимали на тросах мощными домкратами грузоподъёмностью 500 т каждый. Домкраты нагружались статически –

начальная нагрузка в 5 т постепенно доводилась до 100 т. Для обеспечения безопасности после «отрыва» арки от плавсистемы на один метр её в течение часа удерживали на весу.

Для обеспечения долговечности арматура защищена специальным гидротехническим бетоном. Благодаря особым свойствам бетон хорошо сопротивляется образованию и развитию трещин, что предотвращает проникновение воды к арматуре. На поверхность трубы нанесён слой эпоксидных смол. Сваи с использованием подобных труб могут прослужить без ремонта порядка 100 лет.

За безопасностью моста одновременно следят 18 диспетчеров. Центр управления напоминает космический ЦУП. На огромном видеоэкране данные с 19 видеокамер, семи метеостанций и четырех сотен датчиков.

На случай воздушной угрозы на дальних подступах к мосту расположены ЗРС С-400 «Триумф». Дальность их действия около 400 км. На ближних подступах – ЗРПК «Панцирь-С1». На случай появления возможного противника на воде дежурят корабли и авиация Черноморского флота. Пограничная служба ФСБ РФ в своём распоряжении имеет боевые катера с пулеметами и торпедными аппаратами.

Безопасность путепроводов обеспечивают подразделения Росгвардии. В их распоряжении противодиверсионные катера проекта «Граченок». Одно из подразделений – боевые пловцы со специальным вооружением и эхолотами. Они оснащены гидроакустической станцией обнаружения подводных диверсионных сил «Анапа» и телеуправляемым подводным аппаратом ТНПА «Фалкон» с рабочей глубиной до 300 м и барокамерой для водолазных работ.

#### Литература

1. Особенности применения висячих свай // Фундаменты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://fundamentaya.ru/montaj/svajnyj/visyachie\\_svai\\_ustrojstvo\\_i\\_primenenie.html](https://fundamentaya.ru/montaj/svajnyj/visyachie_svai_ustrojstvo_i_primenenie.html).
2. В Керченском проливе подняли железнодорожную арку Крымского моста // Русская весна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rusvesna.su/news/1503994048>.
3. Остров Тузла в Керченском проливе Азовского моря. Керченский мост [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.syl.ru/article/315309/ostrov-tuzla-v-kerchenskom-prolive-azovskogo-morya-kerchenskiy-most>.
4. Как обеспечивают безопасность Крымского моста // Портал безопасности ГрадИнфо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://guardinfo.online/2018/05/16/kak-obespechivayut-bezopasnost-krymskogo-mosta/>.
5. Макаров, О. Мост над древней рекой / О. Макаров // Популярная механика. – 2016. – №5 (163). – С. 42-47.

Зайцев А. П., Капустин А. В.  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОДЬБЫ ЭКЗОСКЕЛЕТА МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В САЕ-СИСТЕМЕ RECURDYN**

***Аннотация.** Описан процесс моделирования движения медицинского экзоскелета в среде RecurDyn: общий вид САЕ-модели, звенья, кинематические пары, центры тяжести, а также приведены некоторые характеристики взаимодействия тел. В качестве результатов моделирования ходьбы представлены графики движущих моментов приводов.*

***Ключевые слова:** медицинский экзоскелет, моделирование ходьбы, движущие моменты.*

Актуальность темы заключается в необходимости исследовать процессы кинематики и динамики движения шагающего робототехнического устройства для определения энергосиловых показателей локомоции ходьбы.

Целью исследования является моделирование движения САЕ-модели, а также изучения характера изменения движущих моментов приводных звеньев экзоскелета медицинского назначения при ходьбе.

**Построение модели.** Для расчёта энергосиловых показателей воспользуемся системой Computer-aided engineering САЕ для моделирования динамики движений многих тел (Multibody Dynamics) RecurDyn. Расчёты физических параметров в RecurDyn основываются на методах Ньютона-Эйлера, Лагранжа и изложены в [1], а также документации программы.

Для моделирования в Recurdyn необходимо создать звенья кинематической цепи экзоскелета. Кинематическая цепь в общем случае состоит из модулей: поясничный, бёдра, голеностопы, ступни.

Все модули экзоскелета являются абсолютно твёрдыми телами с одинаковой плотностью. Центр тяжести звеньев будет смещён относительно геометрического центра звена, этим мы будем учитывать, что к звену крепится соответствующая часть тела человека с равной ей массой. В сумме с человеческими частями тела модули имеют массу: поясничный 53,2 кг, бедро 14,2 кг, голень 6,75 кг, ступня 3,05 кг. Суммарная масса экзоскелета с человеком 101,2 кг.

Для придания устойчивости экзоскелета поясничный модуль закрепим связью – поступательной кинематической парой с опорой в т. D. Поступательная пара будет иметь одну степень свободы по вертикальной оси с коэффициентом трения равным нулю.

Так как экзоскелет жёстко прикреплен к опоре поступательной парой, ступни экзоскелета при ходьбе будут проскальзывать по плоской твёрдой поверхности. Для придания небольшого сопротивления движению «вперёд» зададим динамический коэффициент трения ступней о поверхность равным  $\mu_d = 0.1$ . Приводы экзоскелета см. рис. 1:

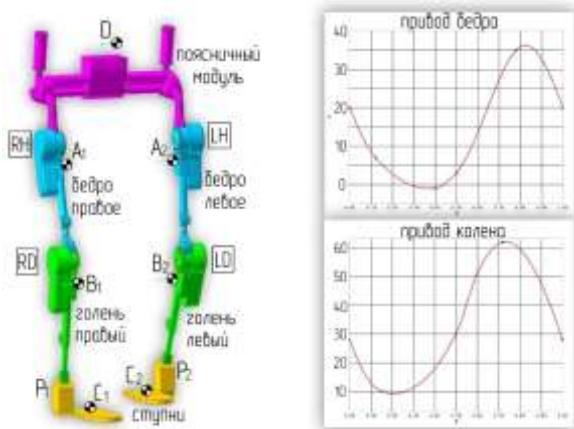


Рис. 1. Общий вид экзоскелета с обозначением модулей и характерных точек центров масс звеньев. Гониограммы ходьбы, ось ординат – угол в градусах

В голеностопных неуправляемых шарнирах т. P<sub>1</sub> и т. P<sub>2</sub> для обеспечения упругости шарнирного соединения размещена спиральная пружина с коэффициентом жёсткости  $K_R = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$ . Коэффициент демпфирования пружины для модели подбирался таким образом, чтобы обеспечить затухание колебаний близким к критическому (для справки:  $C_R = 8 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}/\text{рад}$ ).

Закон движения в приводах задаётся согласно функции угла по времени. Функции задаются пятью точками (рис. 1) и интерполируются сплайнами Акимы. Принятые в моделировании функции ходьбы – гониограммы – использовались при испытаниях экзоскелета, они могут отличаться от методик передвижения пациентов в программах реабилитации. Это может незначительно влиять на фазовое смещение графиков. На величину реакций и моментов влияние будет незначительное, при условии отсутствия ударов ступни о поверхность.

**Результаты моделирования.** Моделирование включает ходьбу экзоскелета по поверхности без нагрузки и с нагрузкой, равной весу среднего человека: рост 175 см, масса 75 кг со скоростью движения экзоскелета 2 км/ч. На рис. 2 представлены графики движущих моментов, которые необходимо обеспечить для прямолинейной ходьбы.

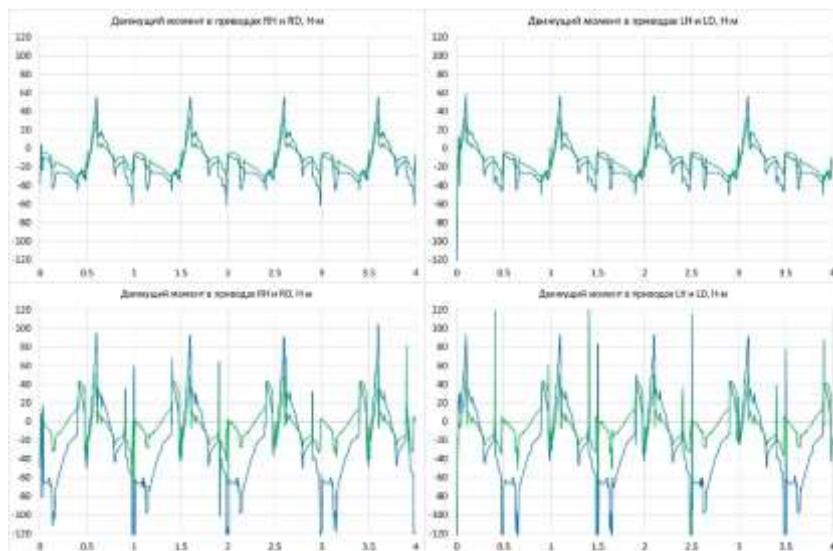


Рис. 2. Графики движущих моментов в приводах экзоскелета (сверху – движение без человека, снизу – с человеком)

Движущие моменты в приводах экзоскелета при ходьбе носят циклический характер и в среднем показателе оцениваются в 30 Н·м без нагрузки и 50 Н·м с нагрузкой, равной по величине среднему человеку.

Исследование может быть полезно при проектировании редуктора привода экзоскелета и при выборе электродвигателя, а также при расчёте энергетической эквивалентности ресурсных испытаний [2]. Используя принципы аналогии, результаты моделирования можно перенести на другие шагающие робототехнические устройства.

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)), шифр 2017-218-09-1807, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.*

## Литература

1. Nobuyuki Shimizu RecurDyn for Beginners - Innovation for Design & Analysis with Multibody Dynamics [Electronic resource] – Access mode: <https://www.functionbay.org/> (accessed 05.17.2019).
2. Loskutov Y.V., Kapustin A.V., Kudryavtsev I.A Calculated justification of energy equivalent of service life tests of a medical exoskeleton. Extreme Robotics / The Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics. 2019. – С. 490-495.

УДК 539.3

Куликов Ю. А., Садовина Е. А.

*Поволжский государственный технологический университет*

### **РАСЧЁТ НАБОРНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ТРУБ, АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ ЛЕНТАМИ**

***Аннотация.** Представлена методика расчёта параметров армирования однонаправленными углеродными лентами труб, набранных из деревянных клёпок. Получена зависимость усилия натяжения ленты от внутреннего давления. Дан пример расчёта.*

***Ключевые слова:** наборные деревянные трубы, углеродная лента, усилия натяжения ленты.*

Деревянные трубы применяются главным образом в лесных регионах, где древесина стоит дешевле, а доставка металлических труб – дорого. При правильном устройстве такие трубы достаточно долговечны. Известны случаи, когда они сохраняли работоспособность 125 лет и более. В качестве древесины обычно используются сосна, ель, лиственница. По некоторым данным, деревянные трубы на 20...45 % дешевле чугунных труб [1].

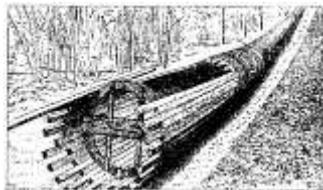


Рис. 1

Трубы с рабочим давлением до 1 МПа и диаметром до 4,2 м набираются из отдельных брусков, или клёпок. Каждый брусок имеет трапециевидальную форму, представляя своеобразный клин. Деревянные бруски длиной до 6 м по шаблону плотно укладываются в цилиндрическую форму и обматываются сильно

натянутой проволокой (рис. 1).

Рассмотрим трубы, сложенные из деревянных клёпок (рис. 2). В качестве арматуры используем углеродную ленту. Благодаря натяжению ленты, клёпки плотно прижимаются друг к другу, в них возникают предварительные напряжения сжатия [2].

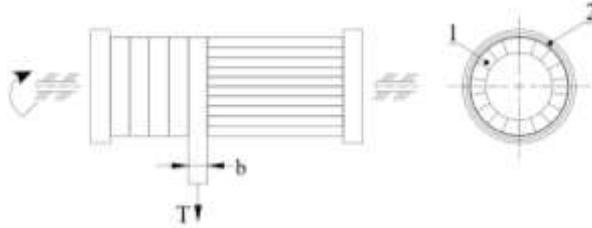


Рис. 2

Используем расчётную схему тонкостенной цилиндрической оболочки. Обозначим:  $p$  – рабочее внутреннее давление,  $D = 2R$  – расчётный диаметр,  $H$  – толщина деревянного бруска,  $E_d$  – модуль упругости древесины в окружном направлении,  $h_k$  и  $b$  – толщина и ширина углеродной ленты соответственно,  $n$  – число слоёв,  $T$  и  $E_K$  – усилие натяжения и модуль упругости углеродной ленты.

Определим напряжения предварительного сжатия деревянных клёпок в зависимости от силы натяжения ленты. Для этого запишем условия равновесия ленты и набора клёпок. Очевидно, что

$$n T = q R \quad \text{и} \quad \sigma_i^{(0)} H b = q R, \quad (1)$$

где  $q$  – контактное давление. Откуда

$$\sigma_i^{(0)} = \frac{n T}{H b}. \quad (2)$$

Индекс « $t$ » определяет окружное направление.

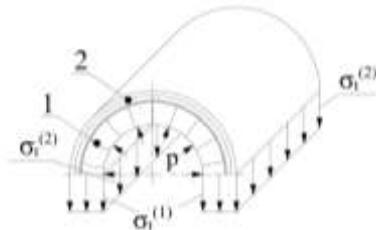


Рис. 3

Далее рассмотрим нагружение трубы внутренним давлением  $p$ . В зависимости от давления определим окружные растягивающие напряжения в древесине. Для этого воспользуемся схемой, представленной на рис. 3. Составим уравнение равновесия

$$p R b = \sigma_t^{(1)} H b + \sigma_t^{(2)} n h_k b \quad (3)$$

и уравнение совместности деформации

$$\varepsilon_t^{(1)} = \varepsilon_t^{(2)} \quad \text{или} \quad \sigma_t^{(1)} / E_D = \sigma_t^{(2)} / E_K. \quad (4)$$

Здесь индекс «1» соответствует древесине, «2» – углеродной ленте.

Из решения системы уравнений (3), (4) находим

$$\sigma_t^{(1)} = \frac{p R}{H + n h_k E_K / E_D}. \quad (5)$$

Используя формулы (2) и (5), из условия равенства  $\sigma_t^{(0)} = \sigma_t^{(1)}$  в зависимости от внутреннего давления находим силу натяжения ленты

$$T = \frac{p R b}{n \left( 1 + \frac{n h_k E_K}{H E_D} \right)}. \quad (6)$$

Согласно (6), сила предварительного натяжения ленты прямо пропорциональна внутреннему давлению  $p$ , радиусу трубы  $R$ , ширине  $b$  и обратно пропорциональна числу слоёв ленты  $n$ . А также зависит от отношения жёсткостей на растяжения углеродной ленты и древесины.

Вычислим силу натяжения углеродной ленты *FibFrm Tape – 430/15* при  $n=6$ ,  $h_k=0,128$  мм,  $b=200$  мм,  $E_K=240$  ГПа,  $\sigma_{вр}^K=4900$  МПа (ТУ 1916-005-61664530-201). Древесина:  $H=40$  мм,  $E_D=582$  МПа (сосна при 9 % влажности [3]). Расчётный диаметр  $D=2R=500$  мм, рабочее давление  $p=1$  МПа. При этих данных  $T=0,934$  кН (93,4 кг).

Очевидно, в этом случае при  $p \leq 1$  МПа клёпки оказываются сжатыми. При  $p > 1$  МПа между клёпками образуются щели, что приводит к разгерметизации трубы.

#### Литература

1. Техническая энциклопедия. 26 тт. Мартенс Л. К. (гл. ред.). Т. 6. – М.: Изд-во АО «Советская энциклопедия», 1929.
2. Куликов, Ю. А. Динамика многослойных трубопроводов из композиционных материалов: монография / Ю. А. Куликов, А. В. Коротков. – Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2015. – 280 с.
3. Ашкенази, Е. К. Анизотропия конструкционных материалов: Справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.

Таричко В. И.

Научный руководитель: Лагеров И. А., д-р техн. наук, профессор  
АО «Брянский автомобильный завод»

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ПРИ НАЛИЧИИ ЛЮФТА

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы исследования рабочих процессов зубчатой передачи подъемно-транспортной машины при наличии люфта, вызванного неплотным прилеганием зубьев зубчатых колес. Данная задача решается при комплексном исследовании динамики. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8.

**Ключевые слова:** зубчатая передача, трансмиссия, люфт.

При проектировании современных подъемно-транспортных машин решаются задачи оценки динамической нагруженности элементов конструкции [1-3], в том числе механических трансмиссий [4].

Для исследования динамики механических трансмиссий используются различные модели, содержащие ряд элементов, последовательно передающих крутящий момент от двигателя к исполнительным механизмам подъемно-транспортной машины. При этом происходит постепенное преобразование момента и частоты вращения. Расчетная схема для построения такой модели приведена на рис. 1.

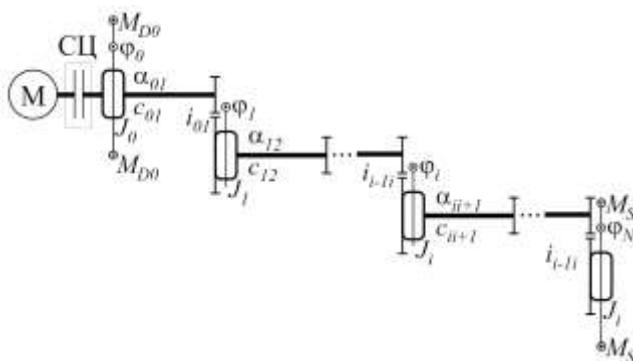


Рис. 1. Расчетная схема механической трансмиссии подъемно-транспортной машины: М – двигатель; СЦ – сцепление

Дифференциальные уравнения движения вращающихся элементов механической трансмиссии (валов, зубчатых колес, карданных передач) выглядят следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_0 \ddot{\varphi}_0 + \alpha_{01} \left( \dot{\varphi}_0 - \frac{\dot{\varphi}_1}{i_{01}} \right) + c_{01} \left( \varphi_0 - \frac{\varphi_1}{i_{01}} \right) = M_{D0}; \\ J_1 \ddot{\varphi}_1 + \alpha_{12} \left( \dot{\varphi}_1 - \frac{\dot{\varphi}_2}{i_{12}} \right) + c_{12} \left( \varphi_1 - \frac{\varphi_2}{i_{12}} \right) - \frac{\alpha_{01}}{i_{01}} \left( \dot{\varphi}_0 - \frac{\dot{\varphi}_1}{i_{01}} \right) - \frac{c_{01}}{i_{01}} \left( \varphi_0 - \frac{\varphi_1}{i_{01}} \right) = 0; \\ \dots \\ J_i \ddot{\varphi}_i + \alpha_{i+1} \left( \dot{\varphi}_i - \frac{\dot{\varphi}_{i+1}}{i_{i+1}} \right) + c_{i+1} \left( \varphi_i - \frac{\varphi_{i+1}}{i_{i+1}} \right) - \frac{\alpha_{i-1}}{i_{i-1}} \left( \dot{\varphi}_{i-1} - \frac{\dot{\varphi}_i}{i_{i-1}} \right) - \frac{c_{i-1}}{i_{i-1}} \left( \varphi_{i-1} - \frac{\varphi_i}{i_{i-1}} \right) = 0; \\ \dots \\ J_N \ddot{\varphi}_N - \frac{\alpha_{N-1}}{i_{N-1}} \left( \dot{\varphi}_{N-1} - \frac{\dot{\varphi}_N}{i_{N-1}} \right) - \frac{c_{N-1}}{i_{N-1}} \left( \varphi_{N-1} - \frac{\varphi_N}{i_{N-1}} \right) = -M_S, \end{array} \right.$$

где  $i=0 \dots N$  – порядковый номер элемента трансмиссии;  $J_i$  – момент инерции  $i$ -го элемента;  $\varphi_i$  – угол поворота  $i$ -го элемента трансмиссии;  $c_{ij}$  – жесткость элемента трансмиссии на кручение;  $\alpha_{ij}$  – коэффициент диссипации элемента трансмиссии;  $M_{D0}$  – движущий момент, передаваемый от двигателя на входное звено трансмиссии через сцепление;  $M_S$  – момент сопротивления, создаваемый приводимыми в движение исполнительными механизмами подъемно-транспортной машины;  $i_{ij}$  – передаточные значения элементов трансмиссии.

В силу непреодолимых конструкционных и технологических причин в зубчатых передачах возникают зазоры (люфты). Особую опасность представляют люфты, значительно превышающие нормативные значения, так как они приводят к преждевременному выходу передач из строя.

Суммарный люфт зубчатой передачи вычисляется по формуле:

$$\Delta_{\Sigma 12} = \Delta_{12} + \Delta_1 + \Delta_2,$$

где  $\Delta_{12}$  – вклад зубчатого зацепления,  $\Delta_1$  – вклад ведущего вала,  $\Delta_2$  – вклад ведомого вала [4].

Для моделирования влияния люфта в зубчатой передаче на динамику трансмиссии была разработана математическая модель люфта, представляющая собой набор динамических условий.

Результаты моделирования динамики зубчатой передачи с люфтом мобильной канатной дороги показаны на рис. 2. Были приняты следующие параметры системы:  $J_0=2000$  кгм<sup>2</sup>,  $J_1=5000$  кгм<sup>2</sup>,  $c_{01}=10000$  Н/м,  $\alpha_{01}=50$  Нс/м,  $i_{01}=0,6$ ,  $M_{D0}=1000$  Нм,  $M_S=995$  Нм,  $\Delta_{\Sigma 12}=0,009$  рад.

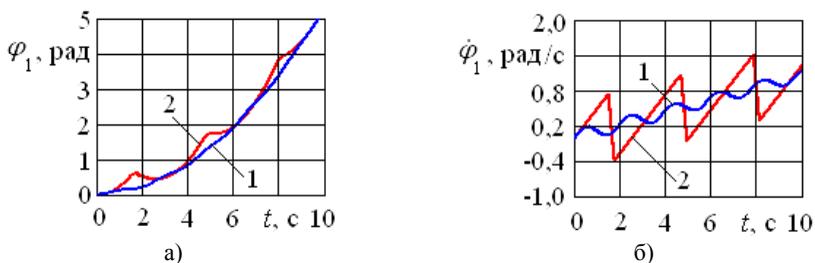


Рис. 2. Результаты моделирования разгона передачи:  
1 – без люфта; 2 – с люфтом

Анализ результатов моделирования динамики зубчатой передачи с использованием предложенного подхода позволяет сделать следующие выводы. При отсутствии люфта закон движения элемента трансмиссии представляет собой гармоническое колебание. При наличии люфта эти колебания также носят периодический характер, но изменение координат и угловых скоростей происходит менее плавно. На графике движения отмечаются характерные пилообразные зубцы, связанные с резким изменением положения зубчатых колес в пределах свободного хода.

#### Литература

1. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных элементов / А. В. Вершинский, И. А. Лагерев, А. Н. Шубин и др. – Брянск: РИО БГУ, 2015. – 210 с.
2. Лагерев, И. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов / И. А. Лагерев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – №4. – С. 29-36.
3. Лагерев, А. В. Моделирование рабочих процессов в дроссельно-регулируемом гидроприводе манипуляционных систем мобильных машин при раздельном движении звеньев / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – №4. – С. 355-379.
4. Таричко, В. И. Анализ подходов к моделированию динамики механических передач транспортных машин / В. И. Таричко // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях». – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. – С. 261-265.

Таричко В. И.

Научный руководитель: Лагеров И. А., д-р техн. наук, профессор  
АО «Брянский автомобильный завод»

## РАСЧЕТ НАГРУЗОК НА ВЫХОДНОЙ ВАЛ ГИДРОМОТОРА ПОДВЕСНОЙ КАНАТНОЙ ДОРОГИ

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы определения эксплуатационных нагрузок на валу гидромотора подвесной канатной дороги. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8.

**Ключевые слова:** канатная дорога, приводной шкив, гидромотор, нагрузки.

Канатные дороги получили широкое распространение для перевозки грузов и пассажиров в условиях труднодоступной местности [1]. В основе исследования рабочих процессов и динамической нагруженности подвесных канатных дорог лежит численное интегрирование дифференциальных уравнений движения [2-4].

Значения эксплуатационных нагрузок и инерционных характеристик движущихся частей канатной системы, входящие в уравнения движения можно вычислить следующим образом:

– момент сопротивления движению тягового канатного органа (приведенный к валу гидромотора)

$$M_{ol} = \frac{k_p D_p}{2\eta_m} |S^o - S^r| = \frac{k_p D_p}{2\eta_m} \left( |S^o - S^r|_{stat} + |S^o - S^r|_{dyn} \frac{\varepsilon_{hm}}{i_m} \right),$$

– приведенный момент инерции вращающихся частей канатной системы

$$J_{red} = J_{hm} + \frac{1}{i_m^2} \left\{ 2(J_c + J_p) + \frac{D_p^2}{4g} [2n_k \xi_k L_{tr} q_k + n_G (G + G_{hd})] + \sum_{i=1}^{i=n_b} \left( \frac{\xi_{sl,i} D_p}{D_{b,i}} \right)^2 J_{b,i} \right\} \approx \frac{k_J}{i_m^2} \left\{ 2(J_c + J_p) + \frac{D_p^2}{4g} [2n_k \xi_k L_{tr} q_k + n_G (G + G_{hd})] \right\},$$

где  $k_p$  – коэффициент запаса мощности ( $k_p = 1,05 \dots 1,1$ );  $\eta_m$  – коэффициент полезного действия механизма движения тягового канатного органа;  $S^o$ ,  $S^r$  – набегающая и сбегаящая силы на приводном шкиве канатной

системы, Н;  $\left| S^o - S^r \right|_{stat}$  – статическая составляющая разности сил на приводном шкиве, Н;  $\left| S^o - S^r \right|_{dyn}$  – динамическая составляющая разности сил на приводном шкиве, Н;  $\varepsilon_{hm}$  – угловое ускорение вращения выходного вала гидромотора, с<sup>-2</sup>;  $i_m$  – передаточное отношение механизма движения тягового канатного органа;  $J_{hm}$  – момент инерции роторных деталей гидромотора, кг·м<sup>2</sup>;  $J_c, J_p$  – моменты инерции поворотной части колонны и шкива, кг·м<sup>2</sup>;  $D_p$  – диаметр приводного шкива, м;  $n_k$  – число несущих тяговых канатов;  $L_{tr}$  – длина пролета мобильного комплекса, м;  $\xi_k$  – коэффициент удлинения каната вследствие его провисания в пролете;  $q_k$  – погонный вес каната, Н;  $n_G$  – число одновременно перемещаемых грузов;  $G$  – вес единичного транспортируемого груза, Н;  $G_{hd}$  – вес грузозахватного устройства, Н;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $n_b$  – число отклоняющих блоков;  $D_{b,i}, J_{b,i}$  – диаметр, м, и момент инерции, кг·м<sup>2</sup>,  $i$ -го отклоняющего блока;  $\xi_{sl,i}$  – коэффициент проскальзывания каната относительно  $i$ -го отклоняющего блока;  $k_J$  – коэффициент запаса вследствие неучета вклада второстепенных движущихся элементов механизма движения тягового канатного комплекса ( $k_J = 1,05 \dots 1,1$ ) [4].

Для задания законов частотного регулирования скорости вращения выходного вала гидромотора при разгоне и торможении и изменения вызываемого дополнительными внешними тормозными устройствами тормозного момента удобно использовать сплайн-интерполяцию этих законов (рис. 1) с помощью одномерных кубических полиномов, аналогичных предложенным в [4].

На этапе разгона каната закон частотного регулирования скорости вращения выходного вала гидромотора удобно представлять в виде набора кусочных функций в пределах каждого временного интервала  $\tau_k \leq \tau \leq \tau_{k+1}$  в интервала времени разгона  $0 \leq \tau \leq \tau_{ov}$  (рис. 1, а):

$$n_{pump}(\tau_k \leq \tau \leq \tau_{k+1}) = n_k + b_{n,k}(\tau - \tau_k) + c_{n,k}(\tau - \tau_k)^2 + d_{n,k}(\tau - \tau_k)^3,$$

где  $\tau_{ov}$  – интервал времени разгона каната, с;  $n_k$  – ордината  $k$ -й опорной точки сплайн-интерполяции закона  $n_{pump}(\tau)$ , с<sup>-1</sup>;  $\tau_k$  – абсцисса  $k$ -й опорной точки сплайн-интерполяции;  $b_{n,k}, c_{n,k}, d_{n,k}$  – коэффициенты кубического сплайна [4].

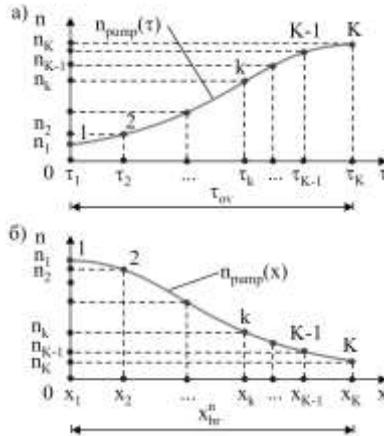


Рис. 1. Сплайн-интерполяция законов: а – при разгоне каната; б – при торможении каната

Рассмотренный подход был применен в исследовании [4] для анализа динамики дроссельно-регулируемого гидропривода подвесной канатной дороги, входящей в состав мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса.

#### Литература

1. Концепция инновационной системы городского транспорта «Канатное метро города Брянска» / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев, А. А. Короткий и др. // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. – №3. – С. 12-15.
2. Лагерев, А. В. Моделирование рабочих процессов в дроссельно-регулируемом гидроприводе манипуляционных систем мобильных машин при раздельном движении звеньев / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – №4. – С. 355-379.
3. Лагерев, А. В. Моделирование рабочих процессов в частотно-регулируемом гидроприводе манипуляционных систем мобильных машин при раздельном движении звеньев / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – №2. – С. 187-209.
4. Лагерев, А. В. Моделирование режимов работы гидроприводов с частотно-дроссельным регулированием мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов / А. В. Лагерев, В. И. Таричко, И. А. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – №4. – С. 462-480.

Химич А. В., Лагереv И. А.  
Брянский государственный университет  
имени академика И. Г. Петровского

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ МОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КАНАТНОГО КОМПЛЕКСА**

***Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы физического моделирования рабочих процессов в основных элементах мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов, оборудование которых смонтировано на подвижных шасси. В основе предложенного подхода лежит видео-фиксация работы масштабных макетов, изготовленных с использованием аддитивных технологий. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8.*

***Ключевые слова:** канатная дорога, мобильное шасси, моделирование, видео-фиксация, масштабный макет, аддитивные технологии.*

Канатный транспорт получил широкое распространение для доставки грузов и пассажиров в условиях труднодоступной местности. Как правило, для этого используются стационарные подвесные и буксировочные канатные дороги и кабель-краны [1].

Сравнительно новым научно-техническим направлением является создание мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов, оборудование которых смонтировано на мобильных шасси различной конструкции. Конструктивно комплекс представляет собой два мобильных шасси, на которых смонтировано оборудование приводной и не-приводной базовых станций, натяжные устройства, привод. Между базовыми станциями размещена канатная система, по которой перемещаются полезные грузы. Такие транспортные системы могут применяться для доставки грузов в условиях чрезвычайной ситуации, а также для выполнения погрузочно-разгрузочных работ в условиях Арктики.

На данном этапе отсутствует возможность проведения натурных испытаний моделирования рабочих процессов мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов, так как методология расчета и анализа их рабочих процессов только формируется. Для решения этой проблемы предлагается создавать масштабные макеты, позволяющие верифицировать создаваемые математические модели и алгоритмы.

Масштабный макет мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса спроектирован в среде КОМПАС-3D. Разработанные твердотельные геометрические модели были конвертированы в формат STL и использовались при подготовке 3D-печати макета. Модель приводной базовой станции канатного комплекса показана на рис. 1.

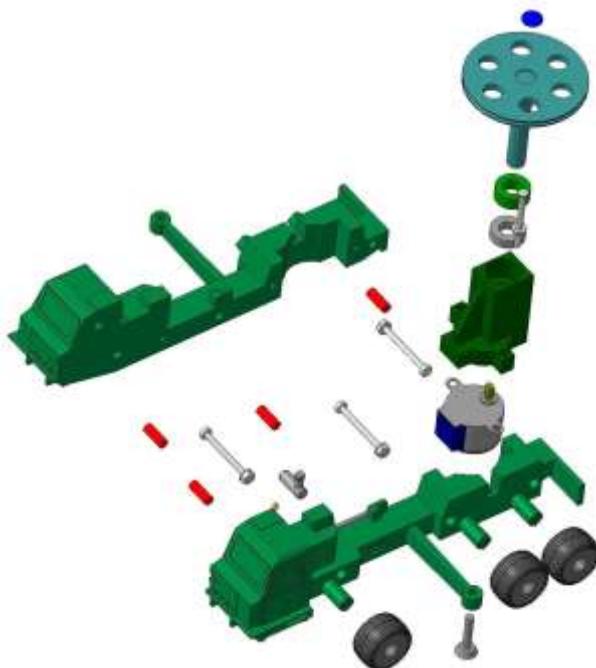


Рис. 1. Цифровая геометрическая модель приводной станции мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса

Масштабный макет мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса (рис. 2) изготовлен с помощью 3D-принтера XYZ Printing Da Vinci 1.0 PRO. При печати возникали различные мелкие дефекты поверхности, которые устранялись в ходе последующей механической обработки (обрезка кусачками, обтачивание напильниками, шлифовка, полировка). Наибольшую опасность представляло отклеивание печатаемой детали от поверхности рабочего стола и деформации под воздействием гравитации. Для повышения адгезии, на рабочий стол 3D-принтера предварительно наносился канцелярский клей.

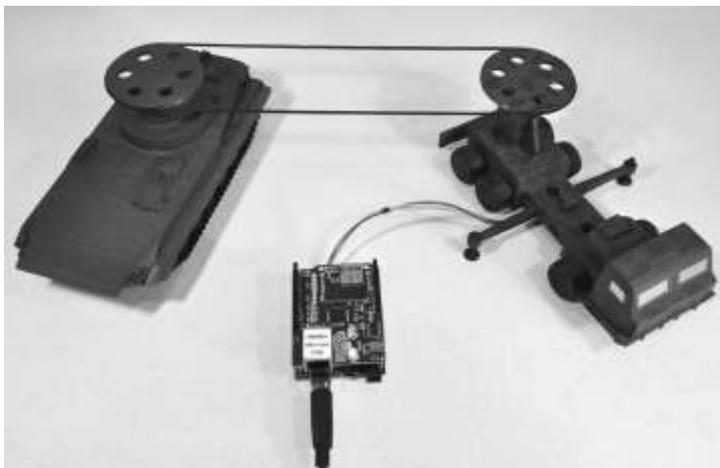


Рис. 2. Общий вид масштабного макета мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса

Для воспроизведения рабочих процессов макет оснащен приводом с системой управления на базе микроконтроллера Arduino. Макет приводится в движение электрическим мотором 28BYJ-48, который создает на своем валу крутящий момент 34,3 мНм.

Для исследования динамических процессов был применен метод видео-фиксации с последующей обработкой записей в программном комплексе Kinovea.

В ходе выполненного эксперимента установлено, что движение точки подвеса груза происходит с постоянной скоростью, однако, упругие колебания канатной системы вызывают маятниковые колебания подвешенного груза. Установлены качественные параметры этого процесса, которые будут использованы для верификации математических моделей исследуемой системы.

#### Литература

1. Концепция инновационной системы городского транспорта «Канатное метро города Брянска» / А. В. Лагерев, И. А. Лагерев, А. А. Короткий и др. // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. – №3. – С. 12-15.
2. Лагерев, И. А. Создание экспериментального макета мобильной канатной дороги с использованием 3D-печати / И. А. Лагерев, В. И. Таричко, С. П. Солдатченков и др. // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – №2. – С. 221-230.

УДК 539.376

Зыкова А. А., Иванов С. П.

*Поволжский государственный технологический университет*

**ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ  
СИСТЕМЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ  
СООТНОШЕНИЯ ЖЕСТКОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ И МАСС**

*Аннотация.* В данной работе исследуется изменение частоты свободных колебаний статически неопределимой системы в зависимости от изменения жесткости системы и соотношения масс.

*Ключевые слова:* частоты, жесткости, свободные колебания.

Рассмотрим статически неопределимую двухмассовую систему (рис. 1), которая имеет различные жесткости элементов  $kEJ$ ,  $nEJ$ ,  $mEJ$ . Такая система имеет две степени свободы, поэтому она характеризуется двумя частотами свободных колебаний  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

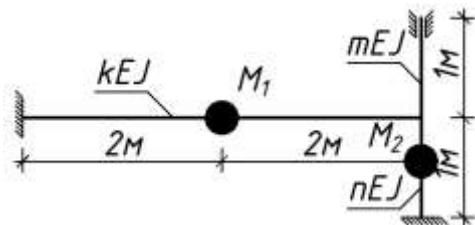


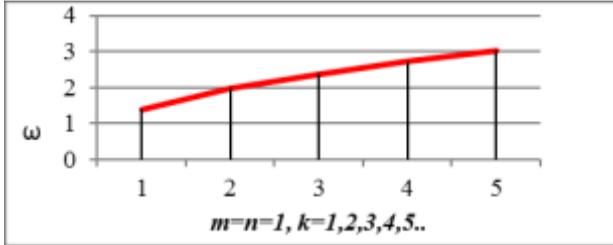
Рис. 1

Исследуем свободные колебания, когда система имеет одну массу  $M_1=M$ , расположенную на горизонтальном стержне (рис. 1). Система имеет одну степень свободы. Для раскрытия статической неопределимости системы воспользуемся методом перемещений, поскольку она всего один раз кинематически неопределима.

Частоту свободных колебаний для одномассовой системы после преобразований определяем по следующей формуле:

$$\omega = \sqrt{\frac{EJ}{M \left( \frac{2,25k + 8m + 8n}{3(k + 4m + 4n)} - \frac{0,75k - 4m - 4n}{6(k + 4m + 4n)} \right)}}$$

a)



б)

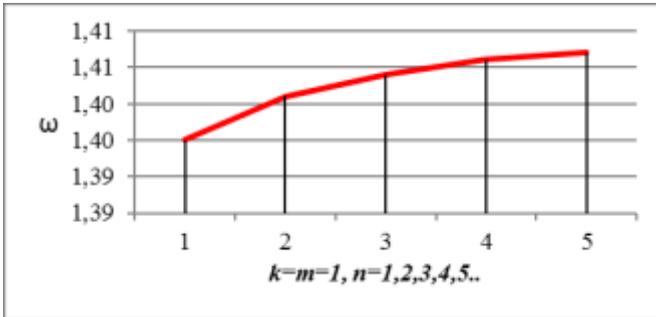


Рис. 2

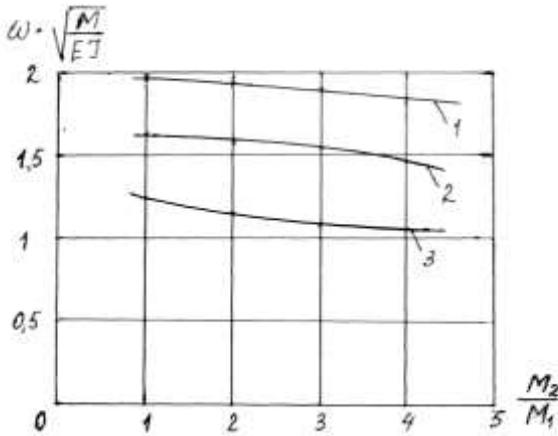


Рис. 3

При изменении жесткости верхней стойки, график аналогичен графику на рис. 2 б. Далее рассматриваем колебание двухмассовой системы (рис. 1).

Частоты определялись на основе формулы:

$$l_{12} = \frac{1}{2} \left[ M_1 \delta_{11} + M_2 \delta_{22} \pm \sqrt{(M_1 \delta_{11} + M_2 \delta_{22})^2 - 4M_1 M_2 (\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12}^2)} \right],$$

где  $l_{12} = 1/\omega^2$ .

На рис. 3 построены графики зависимости частоты свободных колебаний от соотношения масс (рис. 1): **1** – при  $m = n = k = 1$ ; **2** – при  $m = n = 1, k = 2$ ; **3** – при  $m = n = 1, k = 3$ .

### **Выводы**

1. Из графиков (рис. 2 а) видно, что для данной одномассовой системы увеличение жесткости горизонтального стержня значительно увеличивает частоту колебаний системы по сравнению с изменением частоты при увеличении жесткости стоек (рис. 2 б).

2. Частота основного тона с увеличением соотношения масс уменьшается (рис. 3).

3. С увеличением жесткости горизонтального стержня частота основного тона увеличивается (рис. 3).

4. С увеличением жесткости стоек частота основного тона изменяется незначительно.

УДК 539.376

Микакова Д. Е., Иванова А. С., Иванов С. П.

*Поволжский государственный технологический университет*

## **О ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ УСИЛИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ КОНСТРУКЦИЯХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Аннотация.* В работе показывается перераспределение усилий и перемещений в статически неопределимой системе в зависимости от изменения жесткости составляющих элементов.

**Ключевые слова:** статическая неопределимость, жесткость.

Статически неопределимые стержневые системы в виде различных конструкций (балки, рамы, арки, фермы) часто применяются в различных областях техники, в частности – строительства.

Исследуем влияние изменения жесткости на перераспределение усилий и перемещения узлов в статически неопределимой раме (рис. 1).

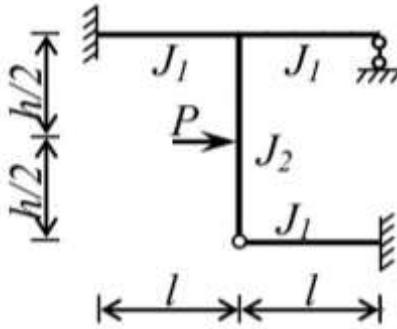


Рис. 1. Схема рамы

Для расчета применяем метод перемещений. Рама два раза статически неопределима.

Обозначим  $J_1=J_m$ ,  $J_2=J_n$ . Решая систему алгебраических уравнений получим формулу для угла поворота  $Z_1$  жесткого узла и линейного перемещения  $Z_2$  системы в вертикальном направлении.

$$Z_1 = -\frac{3 Pl^2}{8 EJ^*}, \quad Z_2 = -\frac{1 Pl^3}{16 EJ^*}, \quad (1)$$

где  $J^*=13J_m+6 J_n$ .

Знак минус показывает, что жесткий узел поворачивается против часовой стрелки и смещается система в вертикальном направлении вверх. Конечная эпюра изгибающих моментов имеет следующий вид (рис. 2).

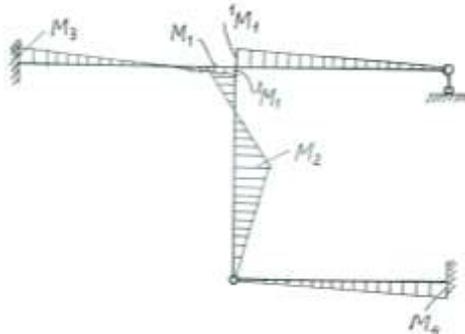


Рис. 2. Эпюра изгибающих моментов

На графике (рис. 2) моменты в характерных сечениях равны:  
 $M_1=0,188Pl(1-6J^{**})$ ;  ${}^1M_1 = 1,313 Pl J^{**}$ ;  ${}^2M_1 = 1,125 Pl J^{**}$ ;  
 $M_2=0,156 Pl(1+3,8J^{**})$ ;  $M_3=0,375 Pl J^{**}$ ;  $M_4=0,188Pl J^{**}$ ; принято обозначение  $J^{**} = J_m / J^*$ .

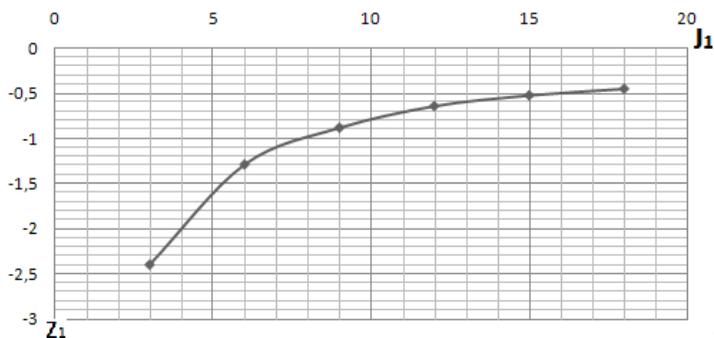


Рис. 3. График изменения угла поворота  $Z_1$  в зависимости от изменения жесткости  $EJ_m = EJ_1$

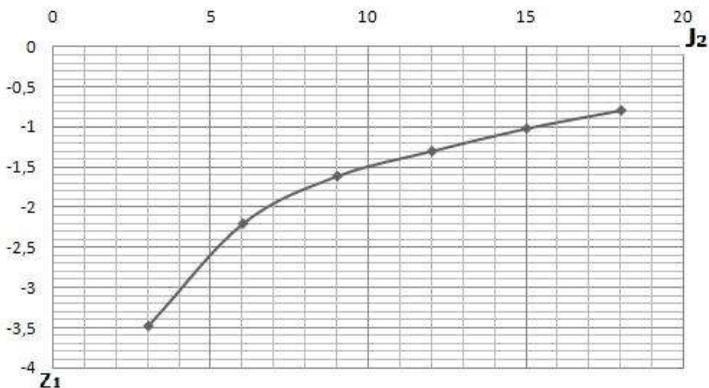


Рис. 4. График изменения угла поворота  $Z_1$  в зависимости от изменения жесткости  $EJ_n = EJ_2$

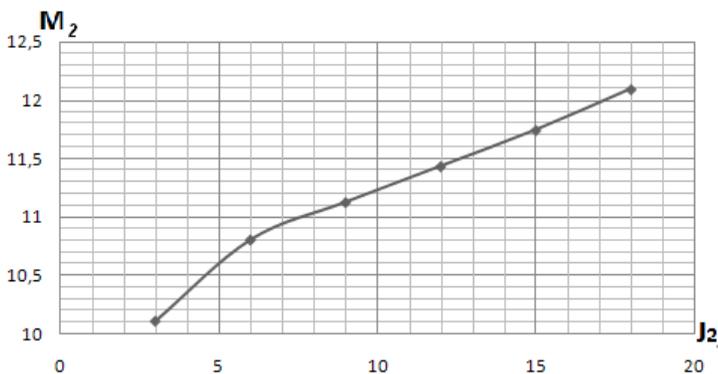


Рис. 5. График изменения изгибающего момента  $M_2$  в зависимости от изменения жесткости  $EJ_n = EJ_2$

Вычисления проводились при  $P=8$  кН.,  $l=6$  м. Жесткости стержней изменялись поочередно с шагом равным  $3EJ$ .

#### Выводы

1. С увеличением жесткости  $EJ_1$  горизонтальных стержней  $EJ_n$  при  $EJ_m = EJ$  величина угла поворота приближается к 0,48 (рис. 3).
2. При увеличении жесткости  $EJ_2$  вертикального стержня  $EJ_n$  при  $EJ_m = EJ$  величина угла поворота приближается к 0,8 (рис. 4).
3. Увеличение жесткости вертикального стержня ведет к увеличению максимального изгибающего момента  $M_2$ , действующего в сечении рамы под силой  $P$  (рис. 5).

УДК 539.376

Родникова А. В., Иванов С. П.

*Поволжский государственный технологический университет*

### ПРИБЛИЖЕННЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМ С БЕСКОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ

**Аннотация.** В данной работе предлагается приближенный способ определения частот свободных колебаний балок с распределенной массой.

**Ключевые слова:** свободные колебания, степени свободы, балки, решение в рядах.

Для определения частот свободных колебаний систем с бесконечным числом степеней свободы можно использовать различные методы: метод начальных параметров, метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных разностей (МКР).

Однако частоту свободных колебаний можно достаточно быстро определить приближенно, решая общее уравнение колебаний для балок с бесконечным числом степеней свободы в рядах.

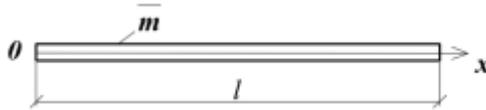


Схема балки

Общее уравнение свободных колебаний стержня с распределенной массой (рисунок) в дифференциальной форме лежит в основе всех методов. Дифференциальное уравнение записывается в следующем виде [1]:

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \bar{m} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где  $EJ$  – жесткость балки,  $\bar{m}$  – распределенная масса. Дифференциальное уравнение (1) можно решить численно или приближенно в рядах, подобрав такую функцию перемещения  $y(x, t)$ , которая соответствует граничным условиям [2].

Рассмотрим возможные варианты закрепления краев и запишем граничные условия на концах балки, и соответствующее им уравнения перемещений:

1. шарнирно закрепленная балка (рис. 1).

Граничные условия: при  $x=0$ :  $y(0)=0$ ;  $y''(0)=0$ ; при  $x=l$ :  $y(l)=0$ ;  $y''(l)=0$ .

Запишем уравнение перемещений для первой формы колебаний:

$$y = \sin(\omega t) \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right). \quad (2)$$

2. Левый край балки защемлен, а правый край закреплен шарнирно (рис. 1), тогда граничные условия принимают следующий вид: при  $x=0$ :  $y(0)=0$ ;  $y'(0)=0$ ; при  $x=l$ :  $y(l)=0$ ;  $y''(l)=0$ .

Уравнение перемещений для первой формы колебаний можно принять в следующем виде:

$$y = \sin(\omega t) \frac{x^2}{l^2} \left( \frac{3}{2} - \frac{3x}{2l} + \frac{x^2}{l^2} \right). \quad (3)$$

3. Края балки защемлены (рис. 1).

Граничные условия имеют вид: при  $x=0$ :  $y(0)=0$ ;  $y'(0)=0$ ; при  $x=l$ :  
 $y(l)=0$ ;  $y'(l)=0$ .

Составим уравнение перемещений для первой формы колебаний:

$$y = \sin(\omega t)(1 - \cos 2\pi x/l). \quad (4)$$

4. Консольная балка. Левый край защемлен, то граничные условия запишутся так: при  $x=0$ :  $y(0)=0$ ;  $y'(0)=0$ ; при  $x=l$ :  $y''(l)=0$ ;  $y'''(l)=0$ .

Уравнение перемещений для первой формы колебаний принимаем в следующей форме:

$$y = \sin(\omega t) \frac{x^2}{l^2} \left( 6 - 4 \frac{x}{l} + \frac{x^2}{l^2} \right). \quad (5)$$

Подставляя в общее уравнение (1) последовательно уравнения перемещений (2 – 5) и ортогонализируя полученные уравнения, определяем частоту свободных колебаний балки с бесконечным числом степеней свободы при различных граничных условиях.

$$\int_0^l \left( EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \bar{m} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) f(x) dx = 0, \quad (6)$$

где  $f(x)$  – функции, представлены в уравнениях (2 – 5).

Результаты вычислений и их сравнение с методом начальных параметров приведены в таблице.

Вид опоры	Решение в рядах	Метод начальных параметров	$\Delta$ , %
Шарнирное опирание	$\omega = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	$\omega = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	0
Консоль	$\omega = \frac{1,879^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	$\omega = \frac{1,875^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	$\approx 0$
Защемленная с 2-х сторон	$\omega = \frac{4,802^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	$\omega = \frac{4,73^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	1,5%
Защемление и шарнир	$\omega = \frac{4,004^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	$\omega = \frac{3,9^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$	2,6%

### Выводы

1. Как видно из таблицы, наиболее точные результаты получены при шарнирном закреплении балки. В данном случае функция перемещений точно повторяет форму колебаний балки. Частота свободных колебаний консольной балки будет минимальной среди балок с другими видами опирания.

2. Данный способ вычисления частоты свободных колебаний более прост по сравнению с методом начальных параметров.

#### Литература

1. Предельное равновесие, динамика и устойчивость стержневых систем: сборник задач по строительной механике / С. В. Андреев, С. Д. Гольман, В. И. Заплатин и др. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 1986. – 85 с.
2. Иванов, С. П. Строительная механика: курс лекций / С. П. Иванов, О. Г. Иванов. – Йошкар-Ола, ПГТУ, 2015. – 308 с.

УДК 539.376

Солоницын А. А., Иванов С. П.

*Поволжский государственный технологический университет*

### **РАСЧЁТ ГИБКИХ ПЛАСТИН ВАРИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ ВЛАСОВА-КАНТОРОВИЧА**

*Аннотация.* Приводятся общие уравнения для расчета гибких пластин вариационным методом Власова-Канторовича. Представлен пример расчета шарнирно опертой пластины.

*Ключевые слова:* гибкая пластина, вариационный метод, уравнение в перемещениях.

В окружающем нас мире пластины и оболочки встречаются очень часто. При проектировании зданий или каких-либо изделий инженер сталкивается с расчетом гибких пластинок. Расчет гибких пластин можно проводить с помощью метода конечных элементов (МКЭ) и метода конечных разностей (МКР). Также можно приближенно вести расчет методом Власова-Канторовича.

Перемещения  $u$  и  $v$  точек в направлении осей  $x$  и  $y$ , лежащих в срединной плоскости пластины и в направлении оси  $z$  перпендикулярной плоскости –  $w$ , запишем в следующем виде [1]:

$$\begin{aligned} w(x, y) &= \sum_i W_i(y) f_i(x); & u(x, y) &= \sum_k U_k(y) \varphi_k(x); \\ v(x, y) &= \sum_d V_d(y) \psi_d(x), \end{aligned} \tag{1}$$

где  $W_i(y)$ ,  $U_k(y)$ ,  $V_d(y)$  – соответственно неизвестные обобщенные перемещения;  $f_i(x)$ ,  $\varphi_k(x)$ ,  $\psi_d(x)$  – соответствующие обобщенным перемещениям функции распределения, которыми можно задаваться заранее.

Для получения разрешающих уравнений используем энергетический метод. Учитываем работу изгибающих, крутящих моментов и продольных, сдвигающих сил. Внутренние силы выражаем через перемещения (1) – прогибы  $w(x, y)$ . Геометрическую нелинейность вводим, учитывая производные от прогибов  $w(x, y)$ . Определяем экстремальное значение полной энергии, используя уравнение Эйлера-Лагранжа. В итоге получим следующие разрешающие нелинейные дифференциальные уравнения для расчета гибкой пластины:

Расчет выполним в первом приближении, учитываем только прогибы пластины. Перемещениями  $u$  и  $v$  пренебрегаем, тогда из уравнений (1) остается только одно уравнение:

$$D(\sum_i a_{ji} W_i^{IV} - 2\sum_i b_{ji} W_i'' + \sum_i c_{ji} W_i) = Q + \Phi_j^{нел.},$$

$$G(\sum_k a'_{ck} U_k'' + \sum_d b'_{cd} V_d' - \frac{E}{1-\nu^2} + \sum_k r_{ck} U_k + u(x, y) = \Phi_c^{нел.}, \quad (2)$$

$$\sum_k m'_{gd} V_d'' - \sum_k r'_{gk} U_k' = \Phi_g^{нел.},$$

В качестве примера выполним расчет шарнирно опертой по контуру пластины, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой  $q$  (рис. 1).

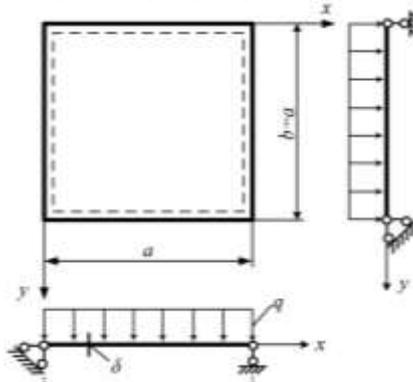


Рис. 1

Расчет выполним в первом приближении, учитываем только прогибы пластины. Перемещения  $u$  и  $v$  пренебрегаем, тогда из уравнений (1) остается только одно уравнение:

$$w(x, y) = W_1(y)f_1(x), \quad f_1(x) = \sin \frac{\pi x}{a}. \quad (3)$$

Будем иметь следующее нелинейное дифференциальное уравнение:

$$D(a_{11}W_1^{IV} - 2b_{11}W_1'' + c_{11}W_1) = Q_1 + \Phi_1^{нел.}, \quad (4)$$

где

$$\Phi_1^{нел.} = 0,5 \left[ (vD + D_1)k_{11} \left[ (W_1(W_1')^2 + W_1^2 W_1'') \right] + \right. \\ \left. + 3Dd_{11}(W_1')^2 W_1'' - De_{11}W_1^3 \right]; \quad Q_1 = \int_0^a qf_1 dx.$$

Коэффициенты уравнения (4) определялись по следующим формулам:

$$a_{11} = \int_0^a f_1^2 dx; \quad b_{11} = \int_0^a (f_1')^2 dx; \quad c_{11} = \int_0^a (f_1'')^2 dx; \quad (5)$$

$$k_{11} = \int_0^a f_1^2 (f_1')^2 dx; \quad d_{11} = \int_0^a f_1^4 dx; \quad e_{11} = \int_0^a (f_1')^4 dx.$$

Решение уравнения (4) выполнялось в рядах, согласно граничным условиям можно принять [1]:  $W_1 = W_{11} \sin(\pi y/b)$ .

Результаты расчета представлены на рис. 2. На графике приняты следующие обозначения:  $Q^* = 4qa^3b/(\pi^6 \delta D)$ ;  $W_{11}^* = W_{11}/\delta$ .

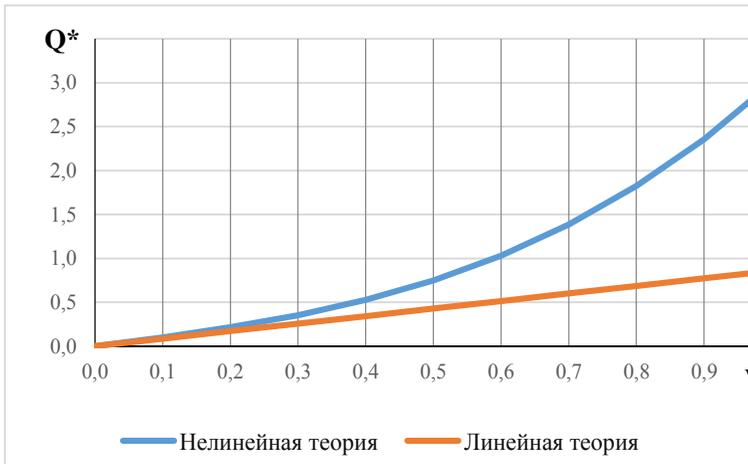


Рис. 2

**Вывод.** Результаты расчета будут близко совпадать с результатами, полученными по уравнениям Кармана [2], если при расчете методом Власова дополнительно учитывать перемещение точек в срединной плоскости  $u$  и  $v$ , соответственно в направлении оси  $x$  и  $y$ .

#### Литература

1. Иванов, С. П. Изгиб прямоугольных пластин: учебное пособие / С. П. Иванов. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – 96 с.
2. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / учеб. пособие для строит. спец. вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 1990. – 400 с.

УДК 539.376

Чернышова О. И., Иванов С. П.

*Поволжский государственный технологический университет*

### РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПЛИТ ВАРИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ В. З. ВЛАСОВА

**Аннотация.** В данной работе рассматривается расчет геометрически нелинейных неразрезных плит вариационным методом В. З. Власова.

**Ключевые слова:** геометрическая нелинейность, неразрезные плиты, вариационный метод.

Неразрезные пролетные изделия имеют ряд особенностей, благодаря которым они находят все более широкое применение в строительстве. По сравнению с разрезными строениями, у неразрезных расчетные моменты и прогибы при одинаковой нагрузке значительно меньше. Для расчета таких плит можно использовать метод конечных элементов (МКЭ). При расчете в «ручном» варианте МКЭ достаточно громоздок, поэтому для таких расчетов лучше применять вариационный метод Власова.

При учете в деформациях производных от функции прогибов, используя энергетический метод [1] получим нелинейные дифференциальные уравнения равновесия гибкой пластины:

$$D(\sum_i a_{ji} W_i^{IV} - 2\sum_i b_{ji} W_i'' + \sum_i c_{ji} W_i) = Q_j + \Phi_j^{нел.}; \quad (1)$$

$(i, j = 1, 2, \dots, n),$

где коэффициенты линейной части имеют вид:

$$a_{ji} = \int_0^a f_j f_i dx; \quad b_{ji} = \int_0^a f_j' f_i' dx - \frac{\nu}{2} [f_j' f_i + f_j f_i']_0^a; \quad c_{11} = \int_0^a f_j'' f_i'' dx.$$

Выражение  $Q_j = \frac{1}{D} \int_0^a q f_j dx$ ; а  $\Phi_j^{нел.}$  учитывает геометрическую нелинейность пластины.

Координатные функции  $f_i(x)$  задаются по физическому смыслу задачи и должны удовлетворять граничным условиям. Обобщенные перемещения  $W_i(y)$  определяются из решения системы дифференциальных уравнений (1).

Рассмотрим пример расчета трехпролетной неразрезной плиты (рис. 1а) от действия равномерно распределенной нагрузки в среднем пролете. Плита по контуру опирается шарнирно.

Для составления координатных функций воспользуемся линиями прогиба, полученными из расчета трехпролетной неразрезной балки от действия равномерно распределенной нагрузки в среднем пролете. (рис.1, б).

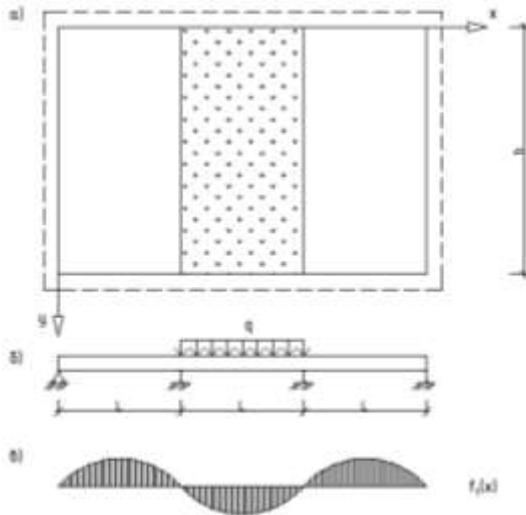


Рис. 1. а) схема плиты в плане; б) поперечное сечение плиты с действующей нагрузкой; в) координатная функция прогибов

Расчет плиты выполняем в первом приближении:

$$w(x, y) = W_1(y) f_1(x, y). \quad (2)$$

Уравнение (1) примет вид:

$$D(a_{11i}W_1^{IV} - 2b_{11i}W_1'' + c_{ji}W_1) = Q_1 + \Phi_1^{нел.}, \quad (3)$$

где

$$\Phi_1^{нел.} = \frac{1}{2D} \left\langle (\nu D + D_1)k_{11}[W_1(W_1')^2 + W_1^2W_1''] + 3Dd_{11}(W_1')^2W_1'' - De_{11}W_1^2 \right\rangle.$$

Запишем при  $i = j = 1$  коэффициенты уравнения (3):

$$a_{11} = \int_0^a f_1^2 dx; \quad b_{11} = \int_0^a (f_1')^2 dx; \quad c_{11} = \int_0^a (f_1'')^2 dx; \quad (4)$$

$$k_{11} = \int_0^a f_1^2 (f_1')^2 dx; \quad d_{11} = \int_0^a f_1^4 dx; \quad e_{11} = \int_0^a (f_1')^4 dx.$$

Постоянные  $D = \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)}$ ;  $D_1 = \frac{E\delta}{1-\nu^2}$ ;  $D_1 = \frac{E\delta}{2(1+\nu)}$ ;  $E, \nu$  – соответ-

ственно модуль упругости и коэффициент Пуассона;  $\delta$  – толщина пластины.

Координатная функция  $f_1(x)$  состоит из выражений:

$$f(x) = \frac{x}{l} \left( 1 - \frac{x^2}{l^2} \right) \quad \text{– для 1 и 3 пролета;} \quad f(x) = \frac{x}{l} \left( 1 + \frac{1,5x}{l} - \frac{5x^2}{l^2} + \frac{2,5x^3}{l^3} \right)$$

– для 2 пролета.

Дифференциальное уравнение (3) решалось в рядах. Согласно граничным условиям в направлении оси  $y$  принимаем:

$$W_1 = W_{11} \sin(\pi y/b). \quad (5)$$

Подставляя (5) в (3), после ортогонализации получим нелинейное алгебраическое уравнение. В результате расчета получаем график зависимости нагрузка  $Q^{***}$  – прогиб  $W_{11}^* = W_{11}/\delta$  в безразмерных параметрах.

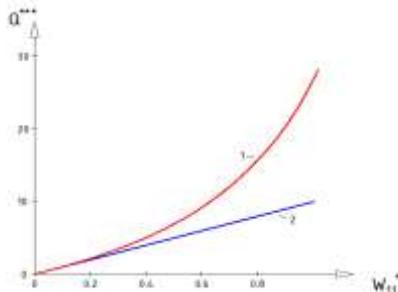


Рис. 2. Для центральной точки: 1 – с учетом геометрической нелинейности; 2 – линейная зависимость

Из результатов расчета следует:

1. вариационный метод Власова позволяет достаточно точно рассчитывать геометрически нелинейную неразрезную плиту даже в первом приближении;
2. результат расчета будет еще более точный, если учесть перемещения в направлении осей  $x$  и  $y$ .

#### Литература

1. Иванов, С. П. Изгиб прямоугольных пластин: учебное пособие / С. П. Иванов. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – 96 с.

УДК 621.9

Волков В. М.

Научные руководители: Левый Д. В., канд. техн. наук, доцент;

Лакалина Н. Ю., старший преподаватель

*Брянский государственный технический университет*

### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ**

***Аннотация.** В данной статье описывается создание программного модуля для проектирования червячных фрез.*

***Ключевые слова:** 3D-модель, червячная фреза, программный модуль, компас-3D.*

Червячная фреза – это реечный тип многолезвийного инструмента, работа которого основана на методе обката. Задача такой фрезы – быстро и точно касаться поверхности заготовки.

Одной из наиболее распространенных задач, которые возникают в ходе технологической подготовки производства, является проектирование режущего и мерного инструмента. Проектирование червячных фрез здесь занимает особое место, поскольку связано с более сложными расчетами.

Для автоматизированного проектирования червячных фрез необходимо:

- разработать программный модуль, рассчитывающий параметры червячной фрезы;
- 3D-модель червячной фрезы с внешними переменными, полученными из программного модуля;
- ассоциативный чертёж.

На первом этапе была создана 3D-модель червячной фрезы в среде Компас-3D.

Далее по выбранной методике расчёта червячной фрезы [1] была разработана блок-схема программы расчёта «Червячной фрезы» (рис. 1), в качестве программной среды была выбрана wxDev-C++. Исходные данные для расчёта фрезы выбраны следующие:  $m$  – модуль зубчатого колеса;  $\alpha$  – угол зацепления;  $h_a$  – высота головки зуба;  $h$  – высота зуба;



Разработанный программный модуль позволяет по исходным данным рассчитать параметры фрезы, затем по этим параметрам автоматически при помощи внешних переменных в среде Компас-3D строится параметрическая 3D-модель «Фреза червячная» (рис. 2), а по ней создаётся ассоциативный чертёж червячной фрезы.

Программный модуль в связи с Компас-3D позволяет ускорить и автоматизировать процесс проектирования червячной фрезы, а также ускорить работу по созданию конструкторской документации в виде конструкторского чертежа червячной фрезы.

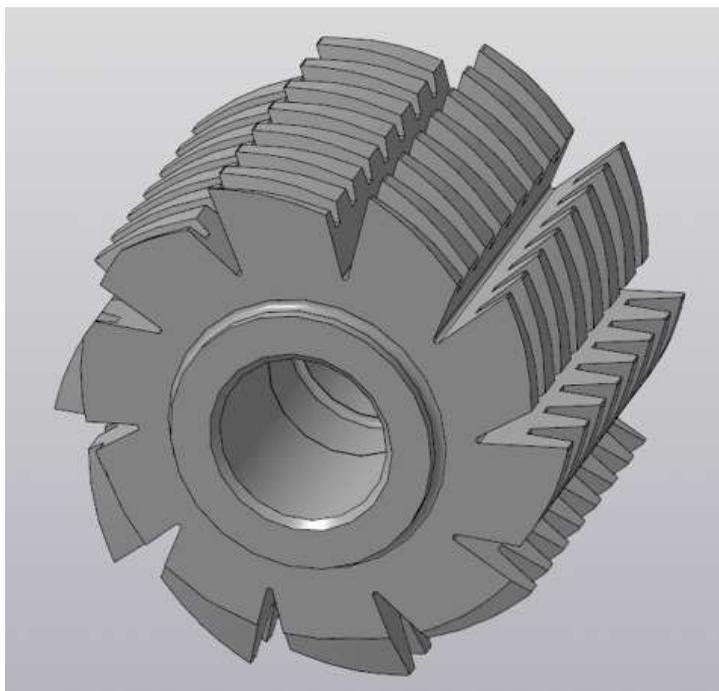


Рис. 2. Параметрическая 3D-модель «Фреза червячная»

#### Литература

1. Стешков, А. Е. Проектирование специальных сложных режущих инструментов [Текст]+[Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. Е. Стешков. – Брянск: БГТУ, 2012. – 116 с.

Домрачева С. С., Щекотова М. И.  
Научный руководитель: Новоселов Н. Т., доцент  
Поволжский государственный технологический университет

## ОПТИЧЕСКИЕ ИЛЛЮЗИИ

**Аннотация.** Рассмотрены особенности зрительного аппарата человека, благодаря которым возникают оптические иллюзии. Приведены примеры этих иллюзий.

**Ключевые слова:** оптические иллюзии, воображение, восприятие.

Человеческий глаз – не самый точный прибор, поэтому и ему свойственно ошибаться. Эти ошибки называют оптическими иллюзиями.

Изображение, попав нам в глаз и дойдя до сетчатки по специальным мозговым каналам, попадает в головной мозг, где и формируется.

Мозг человека, помимо восприятия, мышления, памяти и ряда других процессов, имеет особенную форму психики, присущую исключительно людям, – воображение.

От восприятия воображение отличается тем, что его образы не всегда соответствуют реальности, в них есть элементы фантазии, вымысла.

Сталкиваясь с оптическими иллюзиями, человек, чаще всего даже не замечая этого, обманывает свой разум, и, лишь прибегнув к помощи измерительных приборов, обнаруживает несоответствие.

Рассмотрим некоторые случаи оптических иллюзий.

На рис. 1 изображены две перпендикулярные друг другу палочки. Они равны, но кажется, что вертикальная палочка заметно длиннее горизонтальной. Происходит это потому, что у человека есть бинокулярное зрение – середина от общей картины, воспринимаемой глазами. По мере удаления от середины, зрение перестает быть таким же четким, как в радиусе бинокулярного. Поэтому взгляд человека «притягивается» к пересекающей линии, а то, что левее и правее выпадает за радиус наиболее четкого зрения. Горизонталь поделена надвое, поэтому и кажется меньше, попадая в слабые фланги рисунка.

Если к концам двух равных по длине линий (рис. 2)



Рис. 1

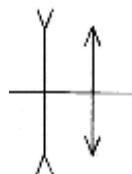


Рис. 2

стороны, к другой – сходящиеся навстречу друг другу, то правая линия кажется короче левой.

Все дело в том, что стрелки направления служат в одном случае как ложное удлинение, а в другом – укорачиванием.

Существует множество всевозможных иллюзий с кажущимся искривлением прямых. На рис. 3 изображены две параллельные прямые, но, если их пересечь прямыми линиями так, как это показано на рис. 4, то создается впечатление, что эти линии вовсе не параллельны, а являются дугами.

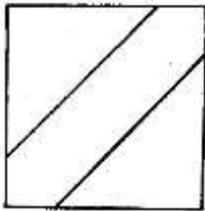


Рис. 3

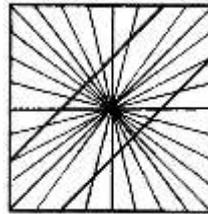


Рис. 4

В данном случае визуальное искривление связано, в первую очередь, с задним планом. Дело в том, что, на первый план как бы выходят не две линии, а пятно с исходящими от него лучами «приковывает» бинокулярное зрение, и две линии, выходящие за его пределы, кажутся дугообразными.

Известно, что черные и белые цвета могут вызывать у человека множество иллюзий: так устроена сетчатка глаз. На рис. 5 создается впечатление искривленных горизонтальных линий, потому что смещены между собой черные и белые квадратики. На самом деле горизонтальные линии параллельны.

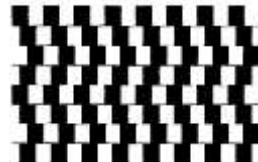


Рис. 5



Рис. 6

Темные предметы всегда кажутся меньшими по сравнению со светлыми предметами того же размера. Если рассматривать одновременно черный круг и белую окружность одинаковых размеров на светлом фоне, то площадь окружности будет нам казаться на 20% больше площади круга (рис. 6).

Человеческому мозгу присуще свойство сравнения. Так, говоря о величине слона, мы мысленно сравниваем его с другими объектами, и он кажется нам гигантским. Но, если сравнивать слона с небоскребом, то слон покажется глазу величиной с собаку. Этим объясняется еще один

тип зрительных иллюзий - иллюзий внешнего давления на восприятие размеров предмета.

На рис. 7 изображены два кружка одинаковых размеров, помещенных среди других кружочков. Кажется, что правый кружок заметно больше левого, но на самом деле это не так. И виной этой иллюзии является все то же сравнение. Левый объект окружают круги большего диаметра, и из-за этого создается впечатление, что правый кружок больше.

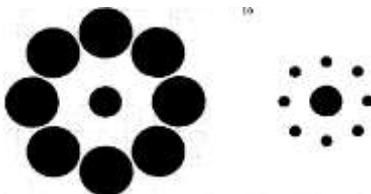


Рис. 7

У треугольника  $ABC$ , изображенного в параллелограмме (рис. 8) стороны  $AB$  и  $AC$  равны, хотя под действием внешних объектов создается впечатление, что  $AB$  длиннее.

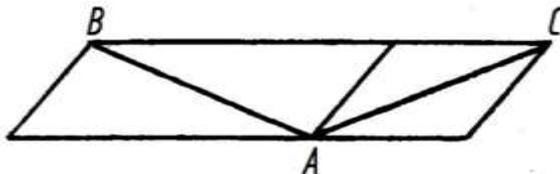


Рис. 8

В данной работе были рассмотрены особенности зрительного аппарата человека, благодаря которым возникают оптические иллюзии. Так как наши глазомерные оценки геометрических величин находятся в непосредственной зависимости не только от физических параметров окружающих нас предметов, но и от психологических особенностей человеческого мозга, то при проектировании объектов следует учитывать возможные оптические иллюзии и производить соответствующие корректировки.

#### Литература

1. Аксенова, М. Энциклопедия для детей. Том Биология / М. Аксенова, С. Измайлова. – М.: Аванта+, 1994. – С. 29.

2. Перельман, Я. И. Занимательная физика / Я. И. Перельман. – М.: Наука, 1981. – С. 73.
3. Воротников, И. А. Занимательное черчение / И. А. Воротников. – М.: Просвещение, 1990. – 223 с.

УДК 515

Соснин А. В., Бакулина И. Р.

*Поволжский государственный технологический университет*

### **РАЗВИТИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВООБРАЖЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАНИЯ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ДЕТАЛЕЙ**

***Аннотация.** Авторы обращают внимание на развитие 3D-технологий моделирования и возможности их использования в методике преподавания графических дисциплин. Представлен один из вариантов выдачи задания по теме «Моделирование деталей».*

***Ключевые слова:** трехмерная модель, моделирование деталей, Компас-3D.*

Цель данной статьи – рассмотреть возможность использования 3D-технологий моделирования как инструмента для развития пространственного воображения студентов-первокурсников.

За рубежом проблеме обучения основам 3D-моделирования уделяют внимание как средству развития пространственного воображения, начиная с младшего возраста [2]. В нашей стране в школах этот вид работы еще не получил повсеместного внедрения в учебный процесс. А учитывая, что из школьного курса практически исчезла дисциплина «Черчение», у будущих инженеров часто отсутствует представление о пространственных формах и объектах. Таким образом, студенты-первокурсники могут испытывать затруднения при изучении дисциплины «Инженерная графика». Для реализации современных тенденций в образовательном процессе и повышения интереса к изучаемой дисциплине преподавателями кафедры начертательной геометрии и графики ПГТУ включают в рабочие программы задания, позволяющие познакомить студентов с основами деятельности в области 3D-моделирования. Мы исходим из того, что интерес студентов к работе за компьютером, всегда очевиден, особенно если речь идет о студентах, обучающихся по направлениям, связанным с информатикой и вычислительной техникой.

Важно предложить студенту разнообразие новых способов работы с современным образовательным контентом.

Отличительной особенностью процедур создания твердотельных моделей является их многовариантность [1]. В работе рассмотрены несколько вариантов создания объемной модели детали. Построение таких моделей может быть одним из заданий при изучении курса инженерной и компьютерной графики.

Рассмотрим пример построения трехмерной модели путем выполнения булевых операций над объемными элементами (рис. 1).

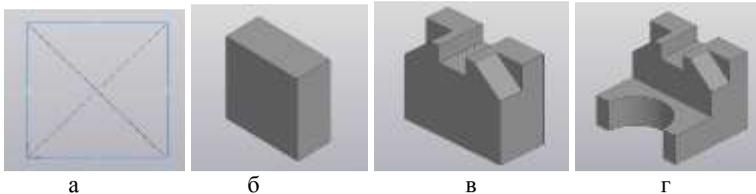


Рис. 1. Примеры выполнения операции над объектами в КОМПАС-3D:  
а – создание эскиза основания; б – операция «выдавливание»;  
в – «вырезание» необходимых элементов; г – «приклеивание» дополнительной детали

На первом этапе выбирается плоскость, в которой будет создаваться эскиз основания детали и строится прямоугольный контур с помощью инструментов на панели «Геометрия». В результате получается плоская фигура (рис. 1а). Для придания объемной формы плоская фигура перемещается в пространстве. На панели «Редактирование детали» выбираем операцию «Выдавливание». Фиксируется необходимое расстояние и формируется объемный элемент (рис. 1б). После создания основания детали производится «вырезание» необходимых элементов. Для этого выбирается плоскость основания, на которой будет создаваться очередной эскиз. Каждый вырезаемый элемент образуется при помощи перечисленных выше операций над эскизами (рис. 1в). И на последнем этапе производится приклеивание дополнительной детали. Для этого выбирается плоскость основания, на которой будет создаваться очередной эскиз, и выдавливается до нужных размеров.

При создании пространственных образов студенты проявляют индивидуальные различия, и сценарий построения модели может быть иным.

Рис. 2 иллюстрирует этапы другого варианта построения модели детали, что свидетельствует о многовариантности твердотельного моделирования.

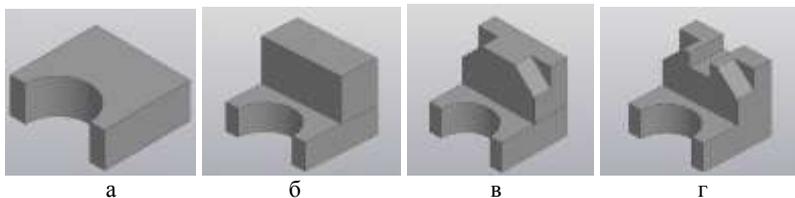


Рис. 2. Второй вариант выполнения операций при создании модели:  
а – операция «выдавливание» эскиза основания; б – «выдавливание» очередного эскиза; в – операция «вырезание»; г – очередное «вырезание»

Во втором примере отличается этап построения эскиза основания. В отличие от первого варианта выбрана горизонтальная плоскость, в которой остроен контур, составленный из дуг окружностей, отрезков или других примитивов на панели «Геометрия». Для придания объема плоский контур «выдавливается» на требуемое расстояние (рис. 2а). Далее необходимо создать очередной эскиз в нужной плоскости и выполнить операцию «выдавливание элемента» (рис. 2б). И на заключительных этапах необходимо «вырезать» необходимые элементы (рис. 2в, 2г).

Таким образом, трехмерный графический редактор – это универсальный инструмент для реализации различных сценариев построения моделей. Следует заметить, что сценарии построения моделей у начинающего пользователя чаще всего далеки от оптимальных. Оптимальность построения модели связана с минимизацией количества формообразующих операций, выполняемых пользователем для создания модели. В то же время такая учебная деятельность помогает обучающимся почувствовать объемность реального и виртуального пространств, оценить разнообразие и форму геометрических тел. Процесс твердотельного моделирования чаще всего весьма увлекателен для студента, помогает развить пространственное воображение и превратить процесс изучения дисциплины из скучного зазубривания в творческий процесс.

#### Литература

1. Большаков, В. П. Компас-3D для студентов и школьников. Черчение, информатика, геометрия / В. П. Большаков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 304 с.
2. Mnaathr S. H., Basha A. D. Descriptive Study of 3D Imagination to Teach Children in Primary Schools: Planets in Outer Space (SUN, MOON, Our PLANET) // Computer Science and Information Technology. – 2013. – № 1 (2). – P. 111–114.

Старегородцева Д. С.

Научный руководитель: Полушина Т. А., канд. техн. наук, доцент  
Поволжский государственный технологический университет

## ОБВОДЫ

*Аннотация.* Приведены краткие сведения о составных кривых – обводах.

*Ключевые слова:* обвод, составная кривая, порядок гладкости.

Форму конструируемой детали можно рассматривать как совокупность геометрических примитивов – точек, линий, отсеков поверхностей. Особое место среди них занимают кривые линии. Свойства кривых используют в оптике, судо-, авто-, авиа- и ракетостроении, в радиоэлектронике, строительных конструкциях, архитектуре и других областях науки и техники.

Построение кривых выполняют различными способами. Если кривая представлена в аналитической форме, то координаты любой ее точки могут быть вычислены с необходимой точностью при изготовлении, например, шаблонов обводов летательных аппаратов, судов, автомобилей и т. д.

Если аналитического представления кривой нет, ее можно составить из кусков известных кривых, описанных аналитически. Составная кривая из двух и более различных монотонных кривых, состыкованных между собой определенным образом, называется обводом (рис. 1).

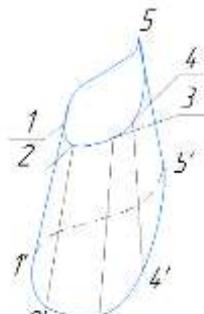


Рис. 1

Точки стыка кривых 1, 2, ..., 5 дуг обвода называются узлами или вершинами обвода. Сами кривые – это стороны обвода. Частный случай обвода – это овал (рис. 2).

Гладкость обвода определяется порядком гладкости в его узлах. Если в точках соединения кусков кривых составляющие обвода имеют общие касательные, то обвод называется обводом первого порядка гладкости.

При плавном изменении второй производной (т. е. радиуса кривизны) на всех участках обвода и на стыках получаем обвод второго порядка гладкости. У обвода третьего порядка гладкости наблюдается плавное изменение третьей производной и т. д.

Технические формы в виде обводов широко используются в инженерной практике. Например, овальные зубчатые колеса используются в

счетчиках расхода жидкости и газа. Коробова кривая (обвод из дуг окружностей) применяются при построении очертаний дверных и оконных проемов, арок, кулачков (рис. 2) различных механизмов.

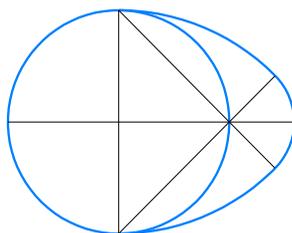


Рис. 2

В инженерной практике конструируют обводы различного порядка гладкости в зависимости от требований, предъявляемых к качеству проектируемых технических кривых и поверхностей. При этом составляющие обвода могут быть кривыми как одного, так и различных типов.

Обводы изображаются графически на две взаимно перпендикулярные плоскости на теоретическом чертеже. На рис. 3 показан пример обводов, используемых в судостроении.

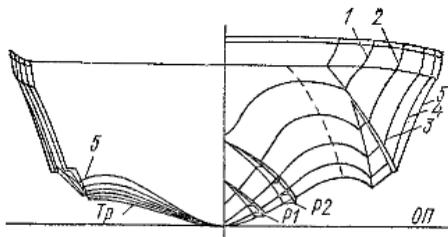


Рис. 3

Обводы во многом определяют качества изделий. Удачный их выбор способствует повышению ряда характеристик изделия. Например, он позволяет снизить сопротивление воздуха и воды при движении летательного аппарата или корабля, что при неизменной мощности двигательной установки позволяет существенно увеличить запас хода конструируемого аппарата.

#### Литература

1. [http://ng.sibstrin.ru/brest\\_novosibirsk/2018/2018.pdf](http://ng.sibstrin.ru/brest_novosibirsk/2018/2018.pdf).

УДК 547.678.7

Егоров П. А., Артемьева А. А., Быкова В. М., Шалфеева Э. Н.,  
Сазанова А. А., Насакин О. Е.

*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

## **МОДИФИКАЦИЯ ФУРАНОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО ДЕШЕВЫМИ ПРОДУКТАМИ ЛЕСОХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

***Аннотация.** Исследовано влияние дистиллированного таллового масла и абиетиновой кислоты на фурановый композиционный материал. Показано, что добавки дистиллированного масла и абиетиновой кислоты улучшают прочность образцов при сжатии, увеличивают плотность и уменьшают водопоглощение.*

***Ключевые слова:** фурановые полимеры, мономер ФА, дистиллированное талловое масло, абиетиновая кислота, прочность, водопоглощение, плотность.*

Современная промышленность композиционных материалов требует использования новых конструкционных материалов, обладающих высокой прочностью, водостойкостью, химической стойкостью в сочетании с невысокой стоимостью.

Большой интерес представляют мономеры и олигомеры из фурфурола и ацетона, их применяют как самостоятельно в качестве связующих, так и в модифицированном виде. Фурановые смолы характеризуются высокими теплостойкостью и химической стойкостью, но имеют недостаток – повышенную хрупкость и жесткость.

Целью нашей работы было получение образцов композиционного материала с улучшенными свойствами и уменьшение затрат на производства. В качестве объекта исследования мы выбрали мономер ФА, который образуется при взаимодействии фурфурола и ацетона в присутствии кислотного катализатора. Для фурановых смол типа ФА, содержащих до 50% монофурфурилиденацетона, в процессе полимеробразования преобладают реакции поликонденсации, выделяется некоторое количество воды, которая ослабляет связи полимера с наполнителем и тем самым ухудшает физико-механические свойства наполненной композиции.

В своих работах [1-3] мы показали, что введение в связующие (мономер ФА, ФАМ) добавок фурфурола, сырого таллового масла и его жирных кислот повышает физико-механические показатели образцов. Работа в этом направлении была продолжена: в данном сообщении в качестве модификаторов связующего нами были использованы некоторые компоненты сырого таллового масла – дистиллированное талловое масло (ДТМ) и абиетиновая кислота (АБК). Абиетиновая кислота представляла интерес из-за возможности вовлечения ее сопряженной диеновой системы в реакции диенового синтеза.

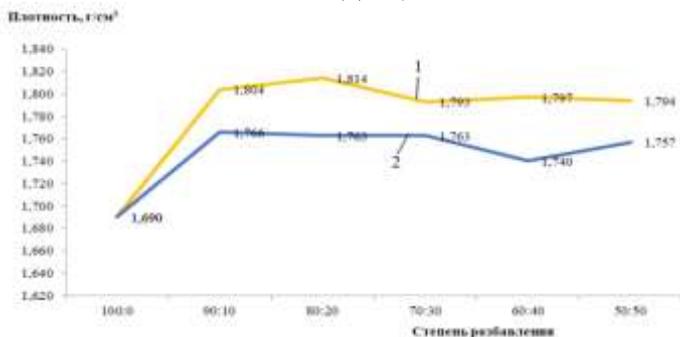
Методика проведения эксперимента состояла в следующем: в наполнитель вводились связующее – мономер ФА и добавка ДТМ или АБК – в соотношении от (1:0) до (0,5:0,5). Затем добавлялся катализатор, образцы формовали и отверждали при комнатной температуре. После 15-дневной выдержки определялась прочность при сжатии по ГОСТ 4651-2014, плотность – по ГОСТ 15139-69 (с изм. 1), водопоглощение – по ГОСТ 4650-2014. Для сравнения показателей готовили образцы, не содержащие ДТМ и АБК (стандарт). Полученные результаты приведены в таблице, рисунке.

Анализ данных таблицы и рисунка показал, что включение в состав композиции ДТМ и АБК значительно повышает качество полученного полимера (в зависимости от соотношения связующего и добавок): предел прочности образцов с дистиллированным талловым маслом увеличивается на 14,5-63,3%, плотность увеличивается на 6,1-7,3%, водопоглощение снижается в 1,02-1,61 раз, с абиетиновой кислотой предел прочности на сжатие увеличивается на 7,0-24,4%; плотность увеличивается на 3,0-4,5%; водопоглощение снижается в 1,1-3,9 раз.

Физико-механические свойства образцов,  
полученных из мономера ФА с добавками ДТМ и АБК

№ п/п	Соотношение ФА и ДТМ (или АБК)	Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup>		Водопоглощение, %	
		Добавка ДТМ	Добавка АБК	Добавка ДТМ	Добавка АБК
1	100:0	140,2	140,2	9,03	9,03
2	90:10	226,2	174,4	5,60	5,30
3	80:20	214,7	167,2	7,00	2,32
4	70:30	216,7	172,1	7,13	3,46
5	60:40	173,2	150,0	8,56	3,47
6	50:50	160,6	152,6	8,82	8,56

Оптимальное соотношение ФА и ДТМ, ФА и АБК составляет 70:30.



Плотность образцов, полученных из мономера ФА с добавками ДТМ (1) и АБК (2)

Следует заметить, что и при большем разбавлении связующего 50:50 в обоих случаях показатели не уступают стандарту. Мы предполагаем, что это вызвано тем, что непредельные кислоты ДТМ и абиетиновая кислота вступают в реакции со связующим ФА, образуя более сшитую полимерную структуру, при этом увеличивается и гидрофобность образцов.

Таким образом, использование дешевых продуктов лесохимического производства позволит улучшить качество пластобетонов, снизить себестоимость производства, темпы накопления отходов и избежать загрязнения окружающей среды.

#### Литература

1. Исследование влияния сырого таллового масла на свойства полимербетонной композиции / П. А. Егоров, Э. Н. Шалфеева, А. А. Сазанова и др. // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды: сб. материалов VII Всесоюзной конф. с междунар. участием (19-20 апреля 2018 г.). – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2018. – С. 106-107.
2. Изучение влияния жирных кислот таллового масла на физико-химические свойства фуранового полимера / П. А. Егоров, В. В. Васильев, А. А. Сазанова и др. // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XIII Междунар. молод. науч. конф. по естественнонаучным и техническим дисциплинам. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С. 117-120.
3. Изучение влияния фурфурола на свойства полимерной композиции на основе мономера ФАМ / В. В. Васильев, П. А. Егоров, А. А. Сазанова и др. // Химия и современность: сборник научных статей / под ред. Ю. Н. Митрасова. – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2019. – С. 14-17.

Содикова М. Р.

Научный руководитель: Джалилов А. Т., д-р хим. наук, профессор  
*Ташкентский химико-технологический институт,  
Ташкентский научно-исследовательский институт химической  
технологии, Узбекистан*

## **СИНТЕЗ, ИЗУЧЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОЛИГОМЕРНЫХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

***Аннотация.** Представлены результаты исследований по синтезу, изучению физико-химических свойств олигомерных ингибиторов коррозии металлов, полученных на основе вторичных материальных ресурсов химических и пищевых производств, а также нереализованного вторичного полиэтилентерефталата.*

***Ключевые слова:** синтез, олигомеры, ингибитор коррозии, вторичные материальные ресурсы, защитный эффект.*

Использование вторичного сырья в качестве новой ресурсной базы – одно из наиболее динамично развивающихся направлений разработки и переработки материалов в мире. Узбекистан имеет значительные не реализованные до сегодняшнего дня ресурсы вторичного сырья (каолин, вторичные продукты переработки хлопчатника /ГС, ДЖК, СЖК/ и химических производств /ВППК/, а также отходы потребления /ВПЭТФ/ и др.), которые можно характеризовать как сырьевые, материальные и топливно-энергетические ресурсы.

Новые технические и технологические решения предоставляют возможность химической переработки вторичного сырья производств на уровне качества предлагаемой и используемой продукции, так, например, получения антикоррозионных материалов – ингибиторов коррозии способствуют развитию новых материалов и продукции с его использованием.

Синтез олигомерных ингибиторов коррозии металлов на основе вторичных материальных ресурсов (ВМР) органического и неорганического происхождения представлены в таблице.

Таблица

№	Ингибиторы коррозии	Состав и количество вводимого компонента, мас. %					
1	ARIN&M-1	ГС	1,0	ПЭПА/ЭДА/ТЭПА	0,4–0,6	–	–
2	ARIN&M-1-1	ГС	1,0	ПЭПА/ЭДА/ТЭПА	0,4–0,6	ОПВПЭТФ	0,1-0,5
3	ARIN&M-1-2	СЖК	1,0	ПЭПА/ЭДА	0,4–0,6	ОПВПЭТФ	0,1-0,5
4	ARIN&M-1-3	ДЖК	1,0	ПЭПА/ЭДА/ТЭПА	0,4–0,6	ОПВПЭТФ	0,1-0,5
5	ARIN&M-1-4	ГС/ ДЖК	1,0	ПЭПА/ЭДА/ТЭПА	0,4–0,6	ОПВПЭТФ	0,1-0,5
6	ARIN&M-2	ВППК	1,0	ПЭПА/ЭДА/ТЭПА	0,4–0,6	–	–
7	ARIN&M-2-1	ВППК	1,0	ПЭПА/ЭДА/ТЭПА	0,4–0,6	ОПВПЭТФ	0,1-0,5
8	ARIN&M-2-2	ВППК/ГС	1,0	ПЭПА/ЭДА/ТЭПА	0,4–0,6	–	–
9	ARIN&M-2-3	ВППК/ГС	1,0	ПЭПА/ЭДА/ТЭПА	0,4–0,6	ОПВПЭТФ	0,1-0,5
10	ARIN&M-3	Т–М+ ОК	1,0	ГС/СЖК/ДЖК	р/к	ОПВПЭТФ	0-0,5
11	ARIN&M-4	Т–М+ ОК	1,0	ВППК	р/к	ОПВПЭТФ	0-0,5
12	ARIN&M-5	Т–М+ ОК	1,0	НС (соли) и их ВП	р/к	–	–
ARIN&M – рас-шифровка		автор разработки ингибиторов коррозии металлов					
ГС, СЖК, ДЖК		ВМР масложирового производства					
ВППК		ВМР производства капролактама стадии окисления толуола					
Т–М + ОК		Продукт взаимодействия тио (мочевины) с ортофосфорной кислотой					
ОПВПЭТФ		Олигомерный продукт вторичного полиэтилентерефталата					

Органические соединения исследованы в качестве ингибиторов кислотной коррозии гравиметрическим и электрохимическим методами. В качестве исследуемой агрессивной среды был использован 3N (11%) раствор соляной кислоты.

Результаты испытаний показали, что исследуемые соединения проявляют высокую степень защиты от коррозии, вплоть до 96,3%, что находится на уровне применяемых импортных промышленных ингибиторов коррозии. Причем некоторые из них обеспечивают ингибирующий эффект более 80% уже при дозировке 5 мл/л.

Анализ результатов электрохимических испытаний показал, что исследованные соединения относятся к ингибиторам анодного типа, принцип действия которых заключается в изоляции поверхности металла образующимися пассивирующими пленками. О механизме их образования можно судить по значениям свободной энергии адсорбции  $\Delta G_{ads}$ , величины которых, согласно литературным данным, свидетельствуют об одновременном наличии двух типов взаимодействий с металлической поверхностью – физической и химической адсорбцией.

Также проведены исследования антикоррозионной активности соединений в минерализованных сероводородсодержащих средах, которые показали, что наиболее эффективными соединениями в данном случае являются ARIN&M-1, ARIN&M-1-1, ARIN&M-2 и ARIN&M-2-1.

Развитие области использования вторичных материальных ресурсов позволит совершенствовать механизмы их применения, и соответственно, формирования спроса на вторичные материальные ресурсы и продукцию, в т. ч. олигомерных ингибиторов коррозии металлов, изготовленную из них или с их использованием взамен первичных дорогостоящих реагентов.

#### Литература

1. Ингибиторы коррозии. Том 1. Основы теории и практики применения / Д. Л. Рахманкулов [и др.]. – Уфа: Реактив, 1997. – 296 с.
2. Шитикова, Е. А. Амино- и амидосодержащие ингибиторы коррозии стали Ст3 в углекислотных и сероводородных средах / Е. А. Шитикова [и др.] // Материалы IV Всероссийской конференции «Физико-химические процессы в конденсированном состоянии и на межфазных границах «ФАГРАН-2008». – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2008. – С. 158-161.

УДК 678.86

Александрова Н. В., Капитонова М. А.

Научные руководитель: Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор  
*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

## **ВЛИЯНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ БУТАДИЕН- МЕТИЛСТИРОЛЬНОГО И БУТИЛ КАУЧУКОВ**

***Аннотация.** Исследовано влияние волокнистых наполнителей на реометрические и физико-механические свойства резины на основе комбинации бутадиен-метилстирольного и бутил каучуков.*

***Ключевые слова:** каучуки волокнистые наполнители, резина, реометрические и физико-механические свойства.*

В настоящее время в резинотехнической промышленности применяют порошкообразные и волокнистые наполнители, обеспечивающие повышенные деформационно-прочностные свойства и стойкость к воздействию агрессивных сред резин и изделий на их основе. Наполнители снижают расход каучуков и себестоимость резинотехнических изделий. Применение волокнистых наполнителей позволяет регулировать свойства изделий [1]. Смеси с волокнистыми наполнителями чаще всего используют для изготовления вариаторных ремней, где требуется высокая поперечная жесткость [2]. В связи с этим нами изучено влияние волокнистых наполнителей на свойства резиновой смеси на основе бутадиен-метилстирольного СКМС-30 АРК и бутил БК-1675 каучуков с серной системой вулканизации, используемой для изготовления уплотняющих и виброизолирующих прокладок. В качестве волокнистых наполнителей применялись базальтовое, арамидное, углеродное и стеклянное волокна. Базальтовое волокно имеет низкую плотность, высокую прочность при растяжении, высокую термическую и химическую устойчивость к агрессивным кислотным и щелочным средам [3]. Стекловолокно устойчиво к термической обработке; негорюче и сопротивляется старению и противостоять деформации [4]. Углеродные волокна близки по прочности к стеклянным волокнам, однако они обладают меньшим удельным весом и более высокой жесткостью (модулем упругости) [5]. Арамидные волокна характеризуются устойчивостью к действию повышенных

температур, химических веществ различной природы, высокими механическими показателями. В работе [6] были исследованы свойства резины на основе бутадиен–нитрильных каучуков с арамидным волокнистым наполнителем.

Резиновая смесь готовилась на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160 при температуре 70°C в течение 20 мин. Волокна длиной 5-7 мм вводились в резиновую смесь в количестве 5,00 мас. ч. на 100,00 мас. ч. каучуков. Резиновую смесь вулканизовали при температуре 150°C в течение 30 мин в вулканизационном прессе типа P-V-100-3RT-2-PCD. В таблице приведены варианты резиновой смеси, а также реометрические, физико-механические и динамические свойства резины.

Варианты резиновой смеси и свойства резины

Волокна, показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Базальтовое волокно, мас.ч.	-	5,00	-	-	-
Арамидное волокно, мас.ч.	-	-	5,00	-	-
Стекло-волокно, мас.ч.	-	-	-	5,00	-
Углеродное волокно, мас.ч.	-	-	-	-	5,00
Реометрические показатели резиновой смеси					
$S_{\max}$ , дН·м	5,57	8,45	7,08	6,21	6,32
$S_{\min}$ , дН·м	0,85	0,82	0,95	0,88	0,91
$t_s$ , мин	2,52	1,92	2,02	2,24	2,20
$t_{90}$ , мин	11,99	8,49	7,36	9,97	8,70
$v_{\max}$ , дН·м/мин	5,39	8,4	6,85	6,11	6,28
Деформационно-прочностные свойства вулканизатов					
$f_p$ , МПа	23	39	23	14	22
$\varepsilon_p$ , %	500	410	270	200	440
H, ед. Шор А	40	50	57	52	48
H, ед. ИСО	29	40	45	42	37
E, %	24	24	20	24	20
B, кН/м	12	13	22	28	11

Примечание:  $S_{\max}$  и  $S_{\min}$  – максимальный и минимальный крутящие моменты;  $t_s$  и  $t_{90}$  – времена начала и оптимума вулканизации;  $v_{\max}$  – максимальная скорость вулканизации;  $f_p$  – условная прочность при растяжении;  $\varepsilon_p$  – относительное удлинение при разрыве; H – твердость; E – эластичность по отскоку; B – сопротивление раздиру.

Как видно из таблицы, при введении волокон максимальный и минимальный крутящие моменты, максимальная скорость вулканизации увеличиваются, а времена начала и оптимума вулканизации уменьшаются. При этом условная прочность при растяжении, твердость и сопро-

тивление раздиру увеличиваются, а относительное удлинение при разрыве и эластичность по отскоку уменьшаются. Наилучшими деформационно-прочностными свойствами обладает вулканизат 2 варианта резиновой смеси, содержащий базальтовое волокно.

#### Литература

1. Тугов, И. И. Химия и физика полимеров / И. И. Тугов. – М.: Химия, 1989. – 433 с.
2. Кошелев, Ф. Ф. Общая технология резины / Ф. Ф. Кошелев, А. Е. Корнев, Н. С. Климов. – М.: Химия, 1968. – 372 с.
3. Кудрявцев, Г. И. Термо-жаростойкие и негорючие волокна / Под ред. А. А. Конкина / Г. И. Кудрявцев, А. М. Щетинин. – М.: Химия, 1978. – 216 с.
4. Ходаковский, М. Д. Производство стеклянных волокон и тканей / М. Д. Ходаковский. – М.: Химия, 1973. – 302 с.
5. Углеродные волокна и углекомпози́ты; пер. с англ.; под ред. Э. Фитцера. – М.: Мир, 1998. – 336 с.
6. Свойства резины на основе бутадиен–нитрильных каучуков с волокнистым наполнителем / И. С. Спиридонов, В. А. Суркова, Н. Ф. Ушмарин // IV Всерос. науч. конф. «Теоретические и экспериментальные исследования процессов синтеза, модификации и переработки полимеров», Уфа, 26-29 октября 2016 г.: сб. трудов. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. – С. 187-188.

УДК 667.6:544.7

Алексеев Н. Э., Тарасов И. С., Хакимова И. И.,  
Зиновьева Е. Г., Плотников В. В.

Научный руководитель: Зиновьева Е. Г., канд. хим. наук, доцент  
*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОГО СТЕКЛА

***Аннотация.** В работе показаны возможности применения жидкого стекла в машиностроении, промышленности, строительстве и других отраслях. Проведена модификация составов на основе жидкого стекла и изучены свойства полученных образцов.*

***Ключевые слова:** жидкое стекло, силикаты металлов, модификация, экология, применение.*

Жидкое стекло (ЖС) представляет из себя водные щелочные растворы силикатов, обычно натрия или калия, и является крупнотоннажным

продуктом, как и силикаты щелочных металлов. Благодаря экологичности, низкой стоимости, негорючести и нетоксичности, ЖС нашло широкое применение в самых разнообразных отраслях.

Вязущие свойства ЖС обусловили его использование в качестве связующего в составе композиционных материалов (например, на основе цемента), а также как неорганический клей для бумаги, картона и древесины.

ЖС используют в качестве растворимого кремнезема для получения золь и гелей кремниевой кислоты, цеолитов и катализаторов.

Высокая щелочность и коллоидные свойства определили применение ЖС в составе эффективных синтетических моющих средств.

В машиностроении ЖС используют в производстве штучных сварочных электродов и керамических флюсов.

Лакокрасочная промышленность применяет ЖС в качестве пленкообразователя при производстве силикатных и антипригарных красок, антикоррозионных грунтов [1, 2].

В работах зарубежных коллег приводится информация об использовании ЖС в производстве геополимерных бетонов [3], в качестве закрепителя грунтов [4], как предшественника при создании кремнеземистых микросфер-носителей лекарственных препаратов [5] и сорбентов для улавливания углекислого газа [6].

Нами экспериментально установлено, что покрытия на основе отвержденного ЖС, получаемые на различных подложках (гипсокартонных, деревянных, металлических) со временем растрескиваются, что приводит к снижению эксплуатационных характеристик изделий. В связи с этим была проведена модификация промышленных жидкостекольных составов органо-минеральными добавками в количестве, не превышающем 30% от массы ЖС. Показано, что модифицированные составы являются устойчивыми более полугода, а покрытия на их основе обладают хорошими адгезионными свойствами.

#### Литература

1. Корнеев, В. И. Растворимое и жидкое стекло / В. И. Корнеев, В. В. Данилов. – СПб.: Стройиздат, 1996. – 216 с.
2. Воронцова, О. А. Поверхностные явления в плёнокообразователе на основе жидкого стекла / О. А. Воронцова, Л. Ю. Сахнова, А. И. Везенцев // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 50. – № 6. – С. 119-125.
3. Van Dao Dong, Trinh Son Hoang. Mechanical properties of fly ash based geopolymer concrete using only steel slag as aggregate. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020, vol. 54, 415-420.

4. Corrêa-Silva Manuela, Araújo Nuno, Cristelo Nuno, Miranda Tiago, Gomes António Topa, Coelho João. Improvement of a clayey soil with alkali activated low-calcium fly ash for transport infrastructures applications. Road Materials and Pavement Design. 2019, vol. 20, № 8, 1912-1926.

5. Wang Wei, Ren Xiongfei, Yang Weiling, Zhang Cuiping, Ru Hongqiang. Hierarchical mesoporous silica microspheres prepared by partitioned cooperative self-assembly process using sodiumsilicate as precursor and their drug release performance. Microporous and Mesoporous Materials, 2019 vol. 275, 50-60.

6. Kwon Yong Mok, Lee Soo Chool, Chae Ho Jin, Cho Min Sun, Park Yong Ki, Seo Hwi Min, Chang Kim Jae. Regenerable sodium-based lithium silicate sorbents with a new mechanism for CO<sub>2</sub> capture at high temperature. Renewable Energy. 2019, 180-187.

УДК 504.056

Васильева Е. С.

Научный руководитель: Андреев В. В., канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ВСЛЕДСТВИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

*Аннотация.* Проанализированы экологические проблемы, являющиеся результатом функционирования газопроводов.

*Ключевые слова:* экология, газопровод, вредные вещества, потребление природного газа, транспортировка природного газа, сжигание природного газа.

Природный газ, поставляемый населению, на промышленные объекты, а также на предприятия сферы услуг по газопроводам, является одним из наиболее эффективных видов топлива. В данной работе проанализированы экологические проблемы, порождаемые в результате добычи, транспортировки по газопроводам и потребления природного газа.

Природный газ, являющийся смесью метана, этана, пропана, бутана и некоторых других углеводородных примесей, имеет высокую тепловорную способность. При правильной эксплуатации оборудования он обеспечивает минимальный выброс вредных веществ в атмосферу.

Добыча газа является комплексным процессом, в результате которого выделяются в окружающую среду токсичные вещества. Вследствие этого загрязняются открытые водоёмы, почва и атмосфера, имеет место

негативное влияние на фауну и флору. Основными факторами экологического риска являются:

- сдвиги и другие деформации грунта, способные стать причиной разрыва труб газопровода;
- разрушение труб газопровода при воздействии активной химико-биологической среды;
- аварии средств транспортировки и переработки природного газа;
- использование не отработанной до конца технологии добычи природного газа;
- сброс неочищенных или плохо очищенных сточных вод в водоемы.

Создаются хранилища природного газа, обеспечивающие оптимальные условия для его хранения. Для этого эффективны природные резервуары: слои песчаника, соляные пещеры, подземные хранилища. Однако при таком антропогенном воздействии на окружающую среду имеет место вероятность выброса в атмосферу вредных веществ в случае аварий. В частности, при попадании природного газа в атмосферу усиливается парниковый эффект.

Одним из путей частичного снижения вредных факторов воздействия на экологию, порождаемых в результате потребления природного газа, является развитие альтернативной энергетики [1- 3]. Важно также развитие методов математического моделирования для прогнозирования экологических проблем [4- 6].

#### Литература

1. Андреев, В. В. Перспективы развития ветроэнергетики / В. В. Андреев // Гидродинамика больших скоростей и кораблестроение: тезисы докладов XII Международной летней научной школы-конференции, посвященной 155-летию со дня рождения академика А. Н. Крылова. – Чебоксары: изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2018. – С. 56.
2. Андреев, В. В. Перспективы развития ветроэнергетики / В. В. Андреев // Гидродинамика больших скоростей и кораблестроение: сб. тр. Междунар. летней научной школы-конференции, посв. 155-летию со дня рождения академика А. Н. Крылова. – Чебоксары: изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2018. – С. 191-194.
3. Андреев, В. В. Тенденции и перспективы развития солнечной энергетики / В. В. Андреев // Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики: сб. тр. VI Всерос. научн. конф. (19-20 октября 2018 г., Чебоксары) / под ред. А. В. Кокшиной, А. В. Смирнова, В. Д. Кочакова и др. – Чебоксары: изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2018. – С. 114-120.
4. Васильева, Е. А. Моделирование динамики социально-экономической системы России / Е. А. Васильева, В. В. Андреев // XVI Междунар. конференция «Математика, Компьютер, Образование», Пушино, 19-24 января 2009 г.: сборник научных тезисов. – Вып. 16. – Ч. 2. – Москва-Ижевск: РХД, 2009. – С. 339.

5. Андреев, В. В. Математическое моделирование и исследование динамики социально-экономической системы России / В. В. Андреев, Е. А. Васильева // Известия РАЕН. Дифференциальные уравнения. – 2009. – № 14. – С. 25-38.

6. Андреев, В. В. Математическое моделирование динамики социально-экономической системы (на примере России) / В. В. Андреев, О. О. Ярмулина // Нелинейный мир. – 2009. – Т.7. №6. – С. 464-474.

УДК 678.86

Волкова А. Н., Галкина А. С.

Научный руководитель: Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор  
*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

### **ВЛИЯНИЕ ДВИНИЛСТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА ДССК 2560 НА СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КАУЧУКОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

***Аннотация.** Исследовано влияние каучука ДССК 2560 на реометрические и деформационно-прочностные свойства, изменение деформационно-прочностных свойств после выдержки в СЖР-1, а также степень набухания в дистиллированной воде и индустриальном масле МС-20 резины на основе комбинации бутадиен-метилстирольного и изопренового каучуков.*

***Ключевые слова:** каучуки общего назначения, резина, реометрические, деформационно-прочностные свойства, степень набухания.*

В последние годы существенно возросли требования, предъявляемые к резиновым прокладкам и уплотнительным элементам, устойчивым к резонансным колебаниям, сильным деформационным воздействиям и стойким к воздействию различных агрессивных сред. Одними из каучуков, обеспечивающих резинам эти требования, являются бутадиен-стирольные каучуки растворной полимеризации со средним и высоким содержанием винильных звеньев [1]. Растворные бутадиен-стирольные каучуки постепенно вытесняют эмульсионные, ввиду высоких физико-механических и эксплуатационных свойств вулканизатов на их основе [2]. В связи с этим нами изучено влияние бутадиен-стирольного каучука марки ДССК 2560 на свойства амортизационной резины с серной вулканизирующей системой на основе каучуков общего назначения СКИ-3 и СКМС-30АРК.

Резиновые смеси готовились на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Реометрические свойства резиновой смеси изучали на реометре

MDR 3000 Basic при 150°C в течение 30 мин. Стандартные образцы резиновой смеси вулканизовали при температуре 150°C в течение 40 мин. В таблице приведены варианты резиновой смеси, их реометрические свойства, деформационно-прочностные и динамико-механические свойства вулканизатов при резонансной частоте колебаний 1081 Гц, изменение деформационно-прочностных свойств после выдержки в СЖР-1, степень объемного набухания вулканизатов в дистиллированной воде и индустриальном масле МС-20.

Варианты резиновой смеси и свойства вулканизатов

Каучуки, показатели	Варианты			
	1	2	3	4
СКМС-30АРКМ, мас. ч.	60,00	30,00	20,00	20,00
СКИ-3, мас. ч.	40,00	40,00	50,00	40,00
ДССК 2560, мас. ч.	-	30,00	30,00	40,00
Реометрические свойства резиновой смеси, 150°Сх30 мин				
S <sub>max</sub> , дН·м	24,29	28,96	28,86	26,13
S <sub>min</sub> , дН·м	2,11	2,94	3,13	2,76
t <sub>s</sub> , мин	3,60	2,87	2,89	3,27
t <sub>90</sub> , мин	21,51	19,69	18,26	19,35
Деформационно-прочностные свойства вулканизатов, 150°Сх40 мин				
f <sub>p</sub> , МПа	12,3	12,1	11,6	11,1
ε <sub>p</sub> , %	250	210	230	250
H, ед. Шор А	77	80	81	79
S, %	35	36	33	40
B, кН/м	30	35	34	29
U, Дж/мм <sup>3</sup>	24,3	34,8	32,5	25,6
Изменение деформационно-прочностных свойств вулканизатов после выдержки в СЖР-1, 100°Сх24 ч				
Δf <sub>p</sub> /f <sub>p</sub> , %	-37,3	-46,3	-49,1	-48,6
Δε <sub>p</sub> /ε <sub>p</sub> , %	-24,0	-28,6	-30,5	-32,0
ΔH, ед. Шор А	-11	-13	-16	-12
Степень набухания в дистиллированной воде, 70°Сх24 ч				
α, %	+3,69	+2,97	+3,25	+3,27
Степень набухания в индустриальном масле МС-20, 23°Сх24 ч				
α, %	+2,76	+3,31	+3,18	+3,14

Примечание: S<sub>max</sub> – максимальный крутящий момент; S<sub>min</sub> – минимальный крутящий момент; t<sub>s</sub> – время начала вулканизации; t<sub>90</sub> – оптимальное время вулканизации; f<sub>p</sub> – условная прочность при растяжении; ε<sub>p</sub> – относительное удлинение при разрыве; H – твёрдость; S – эластичность по отскоку; B – сопротивление раздиру; U – истирание; Δf<sub>p</sub> и Δε<sub>p</sub> – относительное изменение условной прочности при растяжении и относительно удлинения при разрыве; ΔH – изменение твёрдости; α – степень набухания.

Как видно из таблицы, частичная замена каучука СКМС-30АРК на каучук ДССК 2560 приводит к увеличению максимального и минимального крутящих моментов, при этом время начала вулканизации и оптимальное время вулканизации уменьшаются. При частичной замене каучука СКМС-30АРКМ на каучук ДССК 2560 условная прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве уменьшаются в допустимых пределах. При этом эластичность по отскоку, твердость, сопротивление к раздиру и истиранию увеличиваются, что уменьшает потери массы вулканизатов при воздействии механических нагрузок. Для вулканизатов всех вариантов резиновой смеси после выдержки в СЖР-1 наблюдаются изменения деформационно-прочностных свойств, которые возрастают при увеличении содержания каучука ДССК 2560. Вулканизаты всех вариантов резиновой смеси незначительно отличаются по степени набухания в дистиллированной воде и индустриальном масле МС-20.

#### Литература

1. Свойства растворных бутадиен-стирольных каучуков типа ДССК / Л. В. Ковтуненко, В. В. Моисеев, В. С. Глуховской и др. // Тезисы докладов научно-технического симпозиума международной выставки. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1992. – С. 14-15.
2. Куперман, Ф. Е. Свойства шин, получаемых с применением бутадиен-стирольного каучука с повышенным содержанием бутадиена структуры 1,2 / Ф. Е. Куперман, Л. И. Степанова, Г. Г. Пилинкевич // Каучук и резина. – 1994. – №2. – С. 12-14.

УДК 543.062

Денисова О. Н., Дерягина М. С., Сабанцева А. А.

*Поволжский государственный технологический университет*

### **СРАВНИТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВИТАМИНА С В АПЕЛЬСИНАХ И АПЕЛЬСИНОВОМ СОКЕ**

*Аннотация.* Представлены результаты сравнительного анализа содержания витамина С в апельсинах и пакетированном апельсиновом соке с мякотью после разных видов температурной обработки.

*Ключевые слова:* витамин С, аскорбиновая кислота, биологическая роль, методы количественного определения, температурная обработка, йодометрическое титрование, сравнительное содержание.

Актуальность укрепления и сохранения иммунитета в нынешних условиях не вызывает сомнений. Открыл пользу витамина С для укрепления иммунной системы двукратный Нобелевский лауреат Лайнус Полинг. В 1970 г. он выдвинул теорию о том, что регулярное употребление витамина С может предотвращать простудные заболевания. Первооткрывателем витамина С стал венгерский биохимик Альберт Сент-Дьерди. В 1927 г. ему удалось выделить кислоту, которая и была витамином, спасающим от цинги. Состав витамина С официально зарегистрирован 4 апреля 1932 г. Название «аскорбиновая кислота» происходит от лат. *scorbutus* – «цинга» и отрицания «а». Оно появилось позже.

Среди всех витаминов витамин С – самый известный и употребляемый. Польза витамина С обусловлена эффектами биохимических реакций, протекающих под действием ферментов, в состав которых он входит в качестве кофактора. Его новые свойства открывают до сих пор. В настоящее время известны следующие функции витамина С:

- повышает устойчивость организма к инфекциям, так как обладает свойством повышать фагоцитарную активность лейкоцитов, снижает потребность человека в некоторых других витаминах;

- проявляет антиоксидантные свойства, защищает от окисления клетки тела и другие витамины, способствует усвоению организмом железа;

- участвует в регулировании обмена углеводов, холестерина и свёртываемости крови, повышает антиоксидационную функцию печени и способствует наиболее полному созданию в ней запасов гликогена;

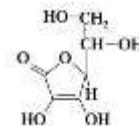
- способствует регенерации тканей, поскольку играет основную роль в образовании коллагена, необходимого для роста и восстановления клеток тканей организма, десен, кровеносных сосудов, костей и зубов;

- обеспечивает образование нейромедиатора серотонина из триптофана, поэтому в состоянии стресса потребность организма в витамине С значительно возрастает;

- рекомендуется как профилактическое средство от синдрома внезапной смерти младенцев, поэтому в период беременности следует принимать повышенные дозы витамина С;

- курильщики и престарелые люди также имеют повышенную потребность в витамине С. Интересно, что каждая выкуренная сигарета разрушает в организме человека 25 мг витамина С;

- при гипervитаминозе витамина С наблюдаются бессонница, головные боли, раздражительность, нарушение пищеварения, повышение артериального давления, угроза отложения камней в почках из-за



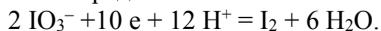
накопления в них щавелевой кислоты – продукта распада аскорбиновой кислоты;

– по данным американских ученых, избыток аскорбиновой кислоты даже способствует развитию онкологических заболеваний. Установлено, что витамин С приводит к образованию гентоксинов, которые повреждают ДНК. Для мутации ДНК достаточно ежедневной дозы витамина в 500 мг, следствием чего может стать развитие рака. [1-3].

Большинство животных синтезируют свой собственный витамин С, но человеку, человекообразным обезьянам и морским свинкам приходится полагаться только на пищевые источники. Одним из наиболее популярных и доступных источников витамина С являются соки цитрусовых, в том числе, апельсиновый сок.

*Цель работы* – сравнительное изучение содержания витамина С в свежих апельсинах, апельсинах после заморозки и пакетированном апельсиновом соке. Для проверки устойчивости витамина С в разных температурных условиях содержание витамина проводилось при комнатной температуре, после суточной заморозки и после нагревания до 95°C.

В ходе работы использован титриметрический метод, основанный на способности аскорбиновой кислоты восстанавливать йодат калия до свободного йода в кислой среде в соответствии с полуреакцией:



Индикацию точки эквивалентности проводили с помощью раствора крахмала. Результаты определения представлены в таблице:

Объекты исследования	Содержание витамина С, мг/100 г	
	комнатная температура	после нагревания до 95°C
Свежий апельсин	55,0	21,8
Замороженный апельсин	52,5	26,3
Сок «Rich» апельсиновый с мякотью	43,9	26,3

#### Выводы

1. Содержание витамина С в свежих апельсинах хорошо согласуется с литературными данными [4] и составляет около 55 мг/100 г.
2. Суточная потребность человека в витамине С (70-100 мг) содержится в 150-200 г свежих апельсинов.
3. Пакетированный апельсиновый сок «Rich» с мякотью уступает по содержанию витамина С мякоти свежих апельсинов приблизительно на 20% (43,9 мг/100 г).
4. Заморозка мало изменяет содержание аскорбиновой кислоты в апельсинах. Потеря в нашем эксперименте составила около 5%.

5. Согласно различным исследованиям [5], температурная обработка снижает содержание витамина С в разных продуктах на 25-85%. Наш эксперимент также подтверждает эти результаты. Снижение содержания аскорбиновой кислоты в нашем случае составило от 40% до 60%.

#### Литература

1. Докучаева, Е. А. Общая биохимия: Витамины: практикум / Е. А. Докучаева, В. Э. Сяхович, Н. В. Богданова; под ред. С. Б. Бокутя. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 52 с.
2. Смирнов, В. А. Витамины и коферменты: уч. пособ. Ч. 2 / В. А. Смирнов, Ю. Н. Климочкин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 91 с.
3. Минделл, Э. Справочник по витаминам и минеральным веществам; пер. с англ. / Э. Минделл. – М.: Медицина и питание: Техлит, 1997. – 131 с.
4. Таблица содержания витамина С в продуктах питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://frs24.ru/st/vitamin-c-soderzhanie-v-produktah/>.
5. Добронравова, И. Воздействие температуры на витамин С – мифы и истина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://natulife.ru/pitanie/nutrienty/vitaminy/c/temperatura-i-askorbinovaya-kislota>.

УДК 678.5

Ефимов К. В., Лаврентьев О. А.

Научные руководители: Ушмарин Н. Ф., канд. техн. наук; Егоров Е. Н., канд. хим. наук, доцент; Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор  
*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

### **ВЛИЯНИЕ КАМЕДЕЙ НА СВОЙСТВА ВОДОНАБУХАЮЩЕЙ РЕЗИНЫ**

**Аннотация.** *Исследовано влияние гуаровой и ксантановой камедей на реометрические показатели резиновой смеси, физико-механические свойства и объемную степень набухания в пластовой воде водонабухающей резины.*

**Ключевые слова:** *гуаровая и ксантановая камеди, водонабухающая резина, реометрические показатели резиновой смеси, физико-механические свойства объемная степень набухания.*

Известно, что основная роль в водонабухающих уплотнительных элементах принадлежит резине, свойства которой зависят от природы используемых каучуков и функциональных ингредиентов направленно-го действия [1-5]. Водонабухающие уплотнительные элементы, в основ-

ном, изготавливаются из резин на основе хлоропреновых и бутадиен-нитрильных каучуков с применением различных гидрофильных добавок: производных крахмала, целлюлозы, поливинилового спирта и разных олигомерных смол. Однако после достаточно длительного контакта с водой происходит вымывание этих добавок и потеря герметизирующих свойств уплотнительных элементов. Среди перспективных нерастворимых и ограниченно водонабухающих добавок следует выделить полиакрилат натрия. Использование его в составе резин совместно с растворимыми водонабухающими добавками позволит сохранить герметизирующие свойства уплотнительных элементов за счет заполнения им пор, образовавшихся при вымывании из резин водорастворимых набухающих добавок. В связи с этим в данной работе исследовано влияние гуаровой и ксантановой камедей на свойства водонабухающей резины на основе комбинации бутадиен-нитрильного БНКС-18АМН, хлоропренового неопрена W, акрилатного AR22 и бутадиенового СКД каучуков, с серной вулканизирующей системой, содержащей полиакрилат натрия. Исследование влияния камедей на свойства данной резины проводилось путем добавления в базовый вариант (вариант 1) резиновой смеси гуаровой (вариант 2) и ксантановой (вариант 3) камедей, а также их комбинации (вариант 4) в количествах 40 мас. ч. (варианты 2 и 3) и по 20 мас. ч. на 100 мас. ч. каучуков. Резиновую смесь готовили путем смешения каучуков с ингредиентами на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Реометрические свойства резиновой смеси изучали на реометре MDR 3000 Basic при 150°C в течение 30 мин. Стандартные образцы резиновой смеси вулканизовали при температуре 150°C в течение 30 мин в вулканизационном прессе типа P-V-100-3RT-2-PCD для определения физико-механических показателей. Основные свойства вулканизатов определяли согласно действующим в резиновой промышленности стандартам. Из результатов исследования реометрических свойств резиновой смеси следует, что введение камедей в резиновую смесь приводит к возрастанию максимального и минимального крутящих моментов на 12-15%, времен начала (на 15-20%) и оптимума (на 3-5%) вулканизации. Причем, наибольшее увеличение перечисленных свойств наблюдается для резиновой смеси, содержащей комбинацию камедей. Данные исследования физико-механических свойств вулканизатов показывают, что вулканизаты резиновой смеси, содержащие гуаровую и ксантановую камеди и их комбинацию, характеризуются меньшими значениями условной прочности при растяжении и эластичности по отскоку по сравнению с вулканизатом базового варианта смеси. Однако введение камедей приводит к увеличению относительного удлинения при разрыве вулканизатов. Для полученных вулканизатов определялась степень

объемного набухания после выдержки в нагретой пластовой воде. Установлено, что вулканизаты, содержащие камеди, в особенности гуаровую камедь, обладают большими значениями степени набухания в пластовой воде по сравнению с вулканизатом базового варианта резиновой смеси.

#### Литература

1. Ivanova A. V., Egorov E. N., Kol'tsov N. I., Ushmarin N. F., Sandalov S. I. An investigation of the effect of methyl cellulose and sodium polyacrylate on the hydrosorption properties of a vulcanisate based on chloroprene rubber // *International Polymer Science and Technology*. 2018. Vol. 45. No. 7. Pp. 311-314.
2. Влияние функциональных ингредиентов на технологические свойства резиновых водонабухающих уплотнительных элементов / Е. Н. Егоров, Н. Ф. Ушмарин, К. В. Ефимов и др. // *Бутлеровские сообщения*. – 2019. – Т. 58. №6. – С. 146-151.
3. Влияние функциональных ингредиентов на физико-механические и эксплуатационные свойства резин для водонефтенабухающих уплотнительных элементов / Е. Н. Егоров, Н. Ф. Ушмарин, К. В. Ефимов и др. // *Бутлеровские сообщения*. – 2019. – Т. 58. №6. – С. 152-157.
4. Влияние функциональных ингредиентов на технологические свойства резиновых водонефтенабухающих уплотнительных элементов / Е. Н. Егоров, Н. Ф. Ушмарин, С. И. Сандалов и др. // *Бутлеровские сообщения*. – 2019. – Т. 57. №1. – С. 95-100.
5. Влияние функциональных ингредиентов на физико-механические и эксплуатационные свойства резин для водонефтенабухающих уплотнительных элементов / Е. Н. Егоров, Н. Ф. Ушмарин, С. И. Сандалов и др. // *Бутлеровские сообщения*. – 2019. – Т. 57. №2. – С. 68-73.
6. Неповинных, Н. В. Использование полисахаридов в технологии взбивного десерта / Н. В. Неповинных, В. Н. Грошева, Н. М. Птичкина // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 2014. – № 2-3 (338-339). – С. 78-81.

УДК 665.5

Калинина А. А.

Научный руководитель: Тарасенко Е. В., канд. биол. наук, доцент  
*Поволжский государственный технологический университет*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДУШИСТЫХ ВЕЩЕСТВ**

*Аннотация.* Рассматриваются различные технологии производства душистых веществ.

*Ключевые слова:* душистые вещества, парфюмерия, эфирные масла.

В современном мире существует множество благ, которые человек получает благодаря научно-техническому прогрессу. Со временем они стали для нас настолько привычными, что, используя их, мы редко задумываемся о том, сколько сил и знаний было вложено в создание этих благ. Предметы домашнего обихода и лекарства, которые мы покупаем в готовом виде в магазинах, стали само собой разумеющимися. А ведь все эти удобства создаются благодаря прогрессу в развитии органической химии. Даже создание косметики и парфюмерных продуктов, которыми пользуются многие женщины, требуют определенного уровня познаний в этой науке. Именно технология создания духов стала темой моего исследования.

Парфюмерия издревле является неотъемлемой частью как в жизни женщин, так и мужчин. В настоящий момент духи создаются не только из эфирных масел: душистые вещества производят синтетическим путем. Каждый стремится приобрести качественную продукцию, в этом заключается актуальность моего исследования.

В своей работе я задалась следующим вопросом: есть ли разница между натуральными и синтетическими душистыми веществами? Целью работы является изучение и сравнение способов получения духов.

В ходе исследования я использовала следующие методы:

1. сравнение: сбор и сравнение информации о различных технологиях создания парфюмерных продуктов;
2. эксперимент: создание духов в лабораторных условиях.

Существует два типа душистых веществ, которые используют в качестве основного сырья: натуральные и синтетические [1]. В основном при изготовлении природных душистых веществ используют сырье растительного происхождения, а сырье животного происхождения (мускус, амбру, цибет, кастореум) чаще всего используют в качестве фиксатора запаха.

К растительному сырью относится группа эфирно-масличных или ароматических растений. Эфирные масла – это смесь веществ, принадлежащих к различным классам органических соединений, а их аромат обусловлен наличием кислородсодержащих соединений: спиртов, сложных эфиров, альдегидов и кетонов. Эфирные масла добывают из эфирномасличных растений. Существует много методов получения масел. В зависимости от характера растительного сырья используют способы, позволяющие получить наибольшие выходы и качество продукции. Основными являются следующие методы [2]:

1. механический: плоды или кожура прессуются с последующим отделением масла от мякоти;
2. метод перегонки водяным паром: при обработке сырья масло переходит в паровую фазу и с парами воды конденсируется, а затем отделяется от воды;
3. мацерация (настаивание): эфирные масла извлекаются с помощью жиров и других нелетучих соединений;
4. экстракция: извлечение масел летучими растворителями;
5. метод анфлеража: при обработке сырья масла переходят в газовую фазу, а затем абсорбируются жирами или твердыми сорбентами (например, активированным углем).

Растительное сырье применяется в виде спиртовых настоев, полученных из душистых частей растений. Значительный минус использования духов, состоящих из натуральных душистых веществ, заключается, пожалуй, в том, что они могут вызвать аллергическую реакцию. Например, масло корицы часто является причиной покраснений и зуда.

Со времени зарождения искусства парфюмерии и вплоть до XIX в. природные продукты служили единственным источником душистых веществ. В XIX в. в результате изучения химического состава эфирных масел и других ароматических веществ удалось установить строение ряда душистых веществ и некоторые из них синтезировать. В последующие годы были разработаны и освоены методы синтеза не только почти всех душистых веществ, добываемых ранее из природного сырья (ментол, цитраль, вещества с запахами амбры и мускуса), но и душистых веществ, не найденных в природе, – фолин (запах листьев фиалки), жасминальдегид (запах жасмина), гидроксцитронеллаль (запах листьев липы и ландыша) и др. [3].

Создание синтетических душистых веществ позволяет удовлетворить возрастающие потребности в этих продуктах и сохранять растения и животных (например, для получения 1 кг розового масла необходимо переработать до 3 т лепестков розы).

С развитием органической химии стало расширяться производство синтетических душистых веществ из химического сырья. Источником синтетических душистых веществ является большая группа органических соединений, их выделяют химическими или физико-химическими методами из различных продуктов растительного или животного происхождения, а также синтезируют из разнообразного химического сырья.

Синтез душистых веществ – сложный химический процесс с применением специального оборудования. Синтетические душистые вещества часто используют в качестве отдушек в косметических изделиях; они

хороши тем, что являются довольно устойчивыми к щелочной среде, в отличие от эфирных масел. Еще одно преимущество синтетических душистых веществ перед натуральными – уникальность, так как они часто имеют ароматы, не встречающиеся в природе.

Сложно говорить о том, какая парфюмерная продукция (натуральная или синтетическая) лучше, так как при изготовлении современных парфюмерных продуктов используются и натуральные и синтетические компоненты. Современные духи выпускаются на основе сложной многокомпонентной смеси пахучих веществ («парфюмерной композиции»). Такая композиция состоит из нескольких десятков химических веществ (и натуральных, и синтетических), придающих ей необходимые свойства. Следовательно, современные парфюмерные продукты – это в высшей степени наукоёмкая продукция, для производства которой требуется высокий уровень развития химической и парфюмерно-косметической промышленности.

#### Литература

1. Химическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1988-1998.
2. Каспаров, Г. Н. Основы производства парфюмерии и косметики / Г. Н. Каспаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988. – 287 с.
3. Хейфиц, Л. А. Душистые вещества и другие продукты для парфюмерии / Л. А. Хейфиц, В. М. Дашунин. – М.: Химия, 1994. – 256 с.

УДК 678.049

Коннова К. А.

Научные руководители: Егоров Е. Н., канд. хим. наук, доцент;

Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор

*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО И БУТАДИЕНОВОГО КАУЧУКОВ**

*Аннотация. Исследовано влияние пластификаторов на реометрические показатели резиновой смеси, физико-механические и эксплуатационные свойства резины на основе бутадиен-нитрильного и бутадиенового каучуков.*

**Ключевые слова:** пластификаторы, резина, бутадиен-нитрильный и бутадиеновый каучуки, реометрические, физико-механические и эксплуатационные свойства.

Известно [1-4], что пластификаторы облегчают распределение ингредиентов, повышают однородность, улучшают перерабатываемость, облегчают процесс формования резиновых смесей и повышают морозостойкость резин. Основным результатом пластификации, а также оценкой эффективности действия пластификаторов, является понижение температуры стеклования резин и сохранение их свойств при пониженных температурах. В связи с этим целью данной работы являлось изучение влияния пластификаторов на свойства резины на основе бутадиен-нитрильного БНКС-18АМН и бутадиенового СКД каучуков с серной системой вулканизации. В качестве пластификаторов использовались: дибутилфталат (ДБФ), дибутилсебацат (ДБС), бис[2-[2-(2-бутоксизтокси)этокси]этил] адипат (Lincol 9), ди-(бутилкарбитол)-формаль (Lincol BCF). ДБФ и ДБС – это бесцветные маслянистые жидкости плотностью 1,05 и 0,94 г/см<sup>3</sup>, температурами кипения 340 и 347°С, динамическими вязкостями при 20°С 19·10<sup>-3</sup> и 10·10<sup>-3</sup> Па·с. Lincol 9 и Lincol BCF представляют собой маслянистые жидкости бледно-желтого цвета, плотностью 1,01 и 0,97 г/см<sup>3</sup>, температурами кипения 345 и 352°С, динамическими вязкостями при 20°С 15·10<sup>-3</sup> и 8·10<sup>-3</sup> Па·с. Исследование влияния пластификаторов на свойства резины проводилось путем замены наиболее распространенных пластификаторов ДБФ и ДБС на Lincol 9 и Lincol BCF. Пластификаторы вводились в резиновую смесь из расчета 20-40 мас. ч. на 100 мас. ч. каучуков. Варианты резиновой смеси приведены в таблице.

Варианты и свойства резиновой смеси и вулканизатов

Пластификаторы, показатели	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
ДБФ, мас. ч.	20	20	20	-	-	-	-
ДБС, мас. ч.	40	-	-	40	40	-	-
Lincol BCF, мас. ч.	-	40	-	20	-	20	40
Lincol 9, мас. ч.	-	-	40	-	20	40	20
Реометрические свойства резиновой смеси (150°С×30 мин)							
S <sub>max</sub> , дН·м	13,60	18,03	18,55	17,07	15,11	17,83	21,22
S <sub>min</sub> , дН·м	2,06	1,39	1,51	1,32	1,34	1,18	1,54
t <sub>s</sub> , мин	3,32	3,17	2,90	3,25	2,68	3,08	2,82
t <sub>90</sub> , мин	8,02	8,00	7,69	7,69	7,33	7,97	7,60

Окончание таблицы

Физико-механические свойства вулканизатов (150°С×20 мин)							
$f_{100}$ , МПа	4,4	2,7	2,7	2,8	2,0	3,2	2,6
$f_p$ , МПа	7,0	4,8	5,6	4,7	5,0	4,9	5,8
$\epsilon_p$ , %	200	250	350	240	370	230	290
H, ед. Шор А	74	61	68	65	62	67	73
Изменение свойств вулканизатов после старения на воздухе (100°С×24 ч)							
$\Delta f_p$ , %	+11,5	+12,9	+15,3	+11,1	+12,0	+10,2	+11,7
$\Delta \epsilon_p$ , %	-15,0	-18,0	-20,0	-15,8	-17,5	-13,9	-17,9
$\Delta H$ , ед. Шор А	+4	+3	+2	+2	+3	+1	+2
Изменение массы вулканизатов в смеси изооктан-толуол (23°С×24 ч)							
$\Delta m$ , %	+9,3	+6,8	+6,5	+6,8	+7,1	+5,9	+8,0

Примечание:  $S_{\max}$  – максимальный крутящий момент;  $S_{\min}$  – минимальный крутящий момент;  $t_s$  – время начала вулканизации;  $t_0$  – оптимальное время вулканизации;  $f_{100}$  – условное напряжение при 100%-ном растяжении;  $f_p$  – условная прочность при растяжении;  $\epsilon_p$  – относительное удлинение при разрыве; H – твердость;  $\Delta f_p$ ,  $\Delta \epsilon_p$  – относительное изменение условной прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве;  $\Delta H$  – изменение твердости;  $\Delta m$  – изменение массы.

Резиновую смесь готовили на лабораторных вальцах ЛБ 320 160/160. Стандартные образцы резиновой смеси для определения физико-механических показателей вулканизовали при температуре 150°С в течение 20 мин в вулканизационном прессе типа P-V-100-3RT-2-PCD. Основные характеристики вулканизатов определяли согласно действующим в резиновой промышленности стандартам. Реометрические показатели резиновой смеси, физико-механические и эксплуатационные свойства вулканизатов приведены в таблице. Как видно из данных таблицы, при замене ДБФ и ДБС на Lincol BCF и Lincol 9 наблюдается увеличение максимального крутящего момента и уменьшение минимального крутящего момента, времен начала и оптимума вулканизации. Результаты исследования физико-механических свойств резины показывают, что замена ДБФ и ДБС на Lincol BCF и Lincol 9 приводит к уменьшению условного напряжения при 100%-ном растяжении, условной прочности при растяжении и твердости. При этом происходит возрастание относительного удлинения при разрыве. Это, по-видимому, связано с уменьшением вязкости резиновой смеси, что подтверждается значениями минимального крутящего момента, который косвенно характеризует вязкость смеси. Уменьшение вязкости вариантов резиновой смеси, содержащих Lincol BCF и Lincol 9, способствует увеличению гибкости макромолекул каучуков и подвижности их надмолекулярной структуры, что приводит к возрастанию относительного удлинения при разрыве резины. Исследования эксплуатационных свойств показывают, что наименьшими изменениями

упруго-прочностных свойств после старения на воздухе при 100°C в течение 24 ч и суточной экспозиции в смеси изооктан-толуол при комнатной температуре обладает вулканизат 6 варианта резиновой смеси, содержащий Lincol VCF и Lincol 9.

#### Литература

1. Исследование влияния пластификаторов ПЭФ-1 и трихлорэтилфосфата на технологические, физико-механические свойства и морозостойкость резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков / Н. И. Кольцов, Н. Ф. Ушмарин, С. А. Иссакова и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. №2. – С. 41-44.
2. Исследование влияния технологических добавок на свойства резин на основе БНК нового поколения. Часть 6. Комбинации пластификаторов с наполнителями для повышения морозостойкости резин / Н. И. Кольцов, Н. Ф. Ушмарин, С. А. Иссакова и др. // Бутлеровские сообщения. – 2012. – Т. 29. № 3. – С. 86-91.
3. Ушмарин, Н. Ф. Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков / Н. Ф. Ушмарин, Е. Н. Егоров, Н. И. Кольцов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2017. – Т. 60. – Вып. 8. – С. 60-64.
4. Омашева, А. В. Исследование различных добавок на свойства резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков/ А. В. Омашева, К. А. Севостьянова. – Караганда: ТОО «Типография Арко», 2018. – 147 с.

УДК 577:634.738:634.733(470.343)

Меркушева Н. Н.

Научный руководитель: Конюхова О. М., канд. биол. наук, доцент  
*Поволжский государственный технологический университет*

### **ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА В ДИКОРАСТУЩИХ ЯГОДАХ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ**

*Аннотация.* В работе рассматриваются методики, определяется биохимический состав дикорастущих ягод брусники обыкновенной и черники обыкновенной в зависимости от условий их хранения.

*Ключевые слова:* брусника обыкновенная, черника обыкновенная, кислотность, сахара, арбутин, антоцианы, витамин С.

В последние годы большое внимание уделяется изучению биологически активных компонентов дикой флоры. Ценность дикорастущих

растений состоит в том, что они имеют относительно высокую приспособленность к условиям окружающей среды и проявляют иммунитет ко многим заболеваниям. В связи с этим дикоросам присущи наиболее стабильные урожаи, а по содержанию многих биологически активных веществ (БАВ) и пищевой ценности превосходят культурные сорта [1-3].

Среди плодовых и ягодных культур особое место занимают дикорастущие ягоды черники и брусники, которые являются источником ряда важных в биологическом отношении веществ-сахаров, органических кислот, витаминов, макро-и микроэлементов, фенольных соединений, антоцианов и т. д. Но, несмотря на широкое распространение и использование дикорастущих ягод в пищевой промышленности и фармацевтическом производстве, вопрос о сохранности в лекарственном ягодном сырье биологически активных веществ недостаточно изучен [4].

Нами ставилась цель: изучение биохимического состава дикорастущих ягод в условиях Республики Марий Эл.

Для проведения химических анализов использовали ягоды черники обыкновенной и брусники обыкновенной, собранные в 2019 году в фазе созревания их.

Определение общих сахаров выполнено по общепринятой методике А. И. Ермакова и др. (1972), содержание общей кислотности (в переводе на яблочную кислоту) – по Б. А. Ягодину (1987) и арбутина – по З. А. Седовой, В. Г. Леонченко, А. И. Астахову (1999) [5]. Количественное определение витамина С и суммы антоцианов проводилось согласно методикам, приведенным в Государственной фармакопее СССР (1991). Выпуск 2. Общие методы анализа [6].

В результате исследования нами было установлено, что содержание общих сахаров в ягодах черники обыкновенной варьировало от 4,5 до 4,6%, в бруснике обыкновенной от 4,2 до 4,3%, что существенной разницы между видами не отмечается. Общее количество кислот в изучаемых ягодах составило в среднем 3,2%. Наличие в растениях биологически активного вещества арбутина показало, что наибольшее его содержание отмечено в бруснике обыкновенной (5,8%), больше, чем в чернике обыкновенной (3,2%).

По результатам исследования растительного материала на наличие витамина С можно сделать вывод, что его содержание в ягодах черники обыкновенной и брусники обыкновенной составило соответственно 4,09 мг% и 14,6 мг%.

Среднее содержание антоцианов в ягодах изученных нами растений находится на уровне 0,25% (черники обыкновенной) и 0,40 % (брусники обыкновенной).

Таким образом, можно сделать вывод, что биохимический состав дикорастущих ягод черники обыкновенной и брусники обыкновенной, произрастающих в Республике Марий Эл, находится в пределах нормы.

#### Литература

1. Губанов, И. А. Дикорастущие полезные растения / И. А. Губанов, К. В. Киселева, В. С. Новиков. – 2-е изд., доп. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 300 с.
2. Зуев, Д. П. Дары русского леса / Д. П. Зуев. – 4-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 239 с.
3. Рабинович, А. М. Лекарственные растения России / А. М. Рабинович, С. А. Рабинович. – М.: ОЛМА-Пресс, 2001. – 317 с.
4. Лесные растительные ресурсы Карелии: сборник статей / Ред. коллегия: Л. К. Поздняков (отв. и др.); Карельск. филиал АН СССР. Ин-т леса. Сов. нац. ком. по проведению Междунар. биол. программы. – Петрозаводск: Карельск. филиал АН СССР, 1974. – 136 с.
5. Седова, З. А. Оценка сортов по химическому составу плодов: Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / З. А. Седова, В. Г. Леонченко, А. И. Астахов. – Орел: Изд-во ВНИИСПК, 1999. – С. 160-167.
6. Государственная фармакопея СССР. Вып. 2. Общие методы анализа Лекарственное растительное сырье/ МЗ СССР. – 11-е изд. доп. – М.: Медицина, 1991. – 400 с.

УДК 504.054

Николаева А. С.

Научный руководитель: Андреев В. В., канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

### **АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ВЫХЛОПА АВТОМОБИЛЯ**

*Аннотация.* Проанализированы экологические проблемы в мире в результате воздействия выхлопных газов.

**Ключевые слова:** экология, выхлопные газы, вредные вещества, выхлоп автомобиля, экологический класс автомобиля.

Во второй половине прошлого века в мире имел место резкий скачок автомобилестроения. С одной стороны, следствием этого явились немалые блага, так как личный автомобиль перестал быть предметом роско-

ши. С другой стороны, возникла актуальная проблема, связанная с загрязнением окружающей среды продуктами сгорания топлива. По причине обострения экологических проблем для отрегулирования допустимого содержания вредных веществ в выхлопных газах в большинстве западноевропейских стран в 1988 году был введён экологический стандарт «Евро-0». Затем в Евросоюзе, начиная с 1992 года, разрабатывались и внедрялись экологические стандарты «Евро-1» – «Евро-6», каждый раз ужесточавшие требования к компонентному составу выхлопных газов.

Выхлопные газы являются продуктом сгорания топлива в тепловых двигателях. В их составе могут содержаться азот, кислород, водяной пар, диоксид углерода, монооксид углерода (угарный газ), углеводороды, альдегиды, диоксид серы, сажа, бензапирен и другие. Компонентные составы выхлопов бензинового и дизельного двигателей, хотя и несколько отличаются, но в обоих случаях в них содержатся большинство веществ из вышеперечисленных. Среди этих веществ имеются как нетоксичные, так и токсичные. Например, угарный газ, не имеющий вкуса и запаха, при его высокой концентрации в плохо проветриваемом помещении может вызвать тошноту, головокружение, удушье, обмороки и смерть. Накопительным эффектом обладают бензапирен и сажа, вызывающие появление опухолей, в том числе и недоброкачественных. Окружающая среда также страдает от выхлопных газов вследствие загрязнения воздуха, воды и почвы, отравления растений, растущих вдоль дорог, кислотных дождей и других. Следовательно, остаётся актуальной разработка и внедрение новых высокоэффективных технологий снижения выбросов вредных веществ в атмосферу.

В современном мире имеет место тенденция повышения экологического класса автомобилей. В одних странах этот процесс происходит быстрее, а в других более жёсткие экологические стандарты внедряются медленнее. Ужесточение экологических стандартов способствует снижению вредных выбросов с выхлопными газами.

Одним из путей частичного решения проблем, связанных с экологией, является развитие альтернативной энергетики [1-3]. Немаловажным является развитие методов математического моделирования в решении экологических задач [4-6].

#### Литература

1. Андреев, В. В. Перспективы развития ветроэнергетики / В. В. Андреев // Гидродинамика больших скоростей и кораблестроение: Тезисы докладов XII Международной летней научной школы-конференции, посвященной 155-летию

со дня рождения академика А. Н. Крылова. – Чебоксары: изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2018. – С. 56.

2. Андреев, В. В. Перспективы развития ветроэнергетики / В. В. Андреев // Гидродинамика больших скоростей и кораблестроение: сб. тр. Междунар. летней научной школы-конференции, посв. 155-летию со дня рождения академика А. Н. Крылова. – Чебоксары: изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2018. – С. 191-194.

3. Андреев, В. В. Тенденции и перспективы развития солнечной энергетики / В. В. Андреев // Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики: сб. тр. VI Всерос. научн. конф. (19-20 октября 2018 г., Чебоксары) / под ред. А. В. Кокшиной, А. В. Смирнова, В. Д. Кочакова и др. – Чебоксары: изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2018. – С. 114-120.

4. Васильева, Е. А. Моделирование динамики социально-экономической системы России / Е. А. Васильева, В. В. Андреев // XVI Междунар. конференция «Математика, Компьютер, Образование», Пушкино, 19-24 января 2009 г.: сборник научных тезисов. – Вып. 16. – Ч. 2. – Москва-Ижевск: РХД, 2009. – С. 339.

5. Андреев, В. В. Математическое моделирование и исследование динамики социально-экономической системы России / В. В. Андреев, Е. А. Васильева // Известия РАЕН. Дифференциальные уравнения. – 2009. – № 14. – С. 25-38.

6. Андреев, В. В. Математическое моделирование динамики социально-экономической системы (на примере России) / В. В. Андреев, О. О. Ярмулина // Нелинейный мир. – 2009. – Т. 7. №6. – С. 464-474.

УДК 678.063

Царева Л. Ю.

Научные руководители: Егоров Е. Н., канд. хим. наук, доцент;  
Кольцов Н. И., д-р хим. наук, профессор

*Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова*

## **ВЛИЯНИЕ МИКРОСФЕР И ПОРОФОРОВ НА СВОЙСТВА РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКА**

***Аннотация.** Исследовано влияние микросфер марок Extrapcel и порофоров на реометрические показатели резиновой смеси, физико-механические и эксплуатационные свойства резины на основе этиленпропиленового каучука.*

***Ключевые слова:** микросферы, порофоры, резина, реометрические свойства резиновой смеси, физико-механические и эксплуатационные показатели вулканизатов.*

В настоящее время одним из перспективных направлений развития резинотехнической промышленности является повышение эксплуатац

онных свойств резин путем введения в их рецептуры новых эффективных наполнителей. Среди таких наполнителей следует выделить полые микросферы и порофоры. Так, в работах [1-3] исследовалось влияние корундовых [1], корундовых и гранатовых [2], а также корундовых, стеклянных и гранатовых [3] микросфер на физико-механические свойства резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков. Порофоры, как правило, используются для повышения пористости резин, см., например, [4]. Для резин на основе этиленпропиленовых каучуков исследования влияния микросфер и порофоров ранее не проводились. В связи с этим нами изучено влияние добавок микросфер Exrapcel и порофоров на свойства резины на основе этиленпропиленового каучука СКЭПТ-40 с серной вулканизирующей системой. Микросферы Exrapcel 03DUT80 и Exrapcel 909DU80В – сферические частицы, изготовленные из сополимеров метакриловой кислоты. Порофоры марок OBSH-75 (4,4-оксис(бензолсульфонилгидразид) и порофор ЧХЗ-21 (азодикарбонамид) – порошки. Микросферы и порофоры вводили в резиновую смесь в количестве 3,4 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. В таблице приведены варианты резиновой смеси, а также реометрические показатели различных вариантов резиновой смеси и физико-механические свойства вулканизатов.

Варианты и свойства резиновой смеси и вулканизатов

Микросферы, порофоры, показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Exrapcel 03DUT80, мас. ч.	-	3,4	-	-	-
Exrapcel 909DU80, мас. ч.	-	-	3,4	-	-
OBSH-75, мас. ч.	-	-	-	3,4	-
ЧХЗ-21, мас. ч.	-	-	-	-	3,4
Реометрические показатели резиновой смеси при 150°C					
$S_{\min}$ , дН·м	2,11	2,56	2,45	2,32	2,52
$S_{\max}$ , дН·м	9,59	9,63	9,61	11,18	12,21
$t_s$ , мин	3,47	6,12	6,96	6,66	6,44
$t_{90}$ , мин	21,36	21,95	21,48	22,22	22,59
Физико-механические свойства вулканизатов (150°C×30 мин)					
$f_p$ , МПа	8,4	7,0	7,6	7,5	8,7
$\epsilon_p$ , %	250	260	320	310	220
H, ед. Шор А	61	60	62	62	68
E, %	30	29	26	27	28
R, кН/м	40	38	32	33	39

Окончание таблицы

Изменение упруго-деформационных свойств вулканизатов после старения на воздухе (100°С×24 ч)					
$\Delta f_p$ , %	-7,8	-1,4	-6,8	-6,7	-3,7
$\Delta \epsilon_p$ , %	-34,9	-26,9	-31,3	-33,5	-27,3
$\Delta H$ , ед. Шор А	+4	+4	+5	+5	+4

Примечание:  $S_{max}$  – максимальный крутящий момент;  $S_{min}$  – минимальный крутящий момент;  $t_s$  – время начала вулканизации;  $t_{90}$  – оптимальное время вулканизации;  $f_p$  – условная прочность при растяжении;  $\epsilon_p$  – относительное удлинение при разрыве;  $H$  – твердость;  $E$  – эластичность по отскоку;  $R$  – сопротивление раздиру;  $\Delta f_p$ ,  $\Delta \epsilon_p$  – относительное изменение показателя, равное отношению разности между его значениями после и до термостатирования на воздухе к исходному значению, умноженному на 100%;  $\Delta H$  – разность твердости резины после и до старения на воздухе.

Из приведенных в таблице данных следует, что введение в резиновую смесь микросфер и порофоров приводит к увеличению времен начала и оптимума вулканизации и незначительным изменениям минимального крутящего момента. Наибольшие величины максимального крутящего момента наблюдаются для вариантов резиновой смеси, содержащих порофоры. Вулканизаты резиновой смеси, включающие микросферы и порофор OBSH-75, обладают меньшими значениями условной прочности при растяжении, эластичности по отскоку и сопротивлением раздиру, чем первый вариант, не содержащий эти добавки. Вулканизат, содержащий порофор ЧХЗ-21, обладает повышенной условной прочностью и твердостью по сравнению с вулканизатами других вариантов резиновой смеси. Исследование эксплуатационных свойств резины проводилось путем определения изменений упруго-прочностных свойств вулканизатов после старения на воздухе при 100°С в течение 24 ч. Наименьшие изменения этих свойств наблюдаются для вулканизатов 2 и 5 вариантов резиновой смеси, содержащих Expancel 03DUT80 и порофор ЧХЗ-21.

#### Литература

1. Ushmarin, N. F., Krasnova, E. V., Egorov, E. N., Koltsov, N. I., Stroganov, I. V., Khairullin, R. Z. The effect of hollow corundum microspheres on the properties of materials based on carbon-chain rubbers // Polymer Science. Series D. 2018. Vol. 11. No. 3. Pp. 320-322.
2. Кириллова, Т. А. Применение микросфер для повышения свойств пошвенной резины / Т. А. Кириллова, Н. А. Семенова, Н. И. Кольцов // XIV Международная молод. науч. конф. по естест. науч. и техн. дисциплинам (Йошкар-Ола, 19-20 апреля 2019): сб. материалов в 4 ч. – Ч. 3. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. – С. 43-45.
3. Лаврентьев, О. А. Влияние полых микросфер на свойства маслобензостойкой резины / О. А. Лаврентьев, Е. Г. Ефимовский, Н. И. Кольцов //

XIII Международная молод. науч. конф. по естеств. науч. и техн. дисциплинам (Йошкар-Ола, 20-21 апреля 2018 г.): сб. материалов: в 4 ч. – Ч. 1. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С. 159-160.

4. Дворников, Д. Особенности разложения азодикарбонамида в силоксановом каучуке / Д. Дворников, А. В. Кривов, В. И. Ключков // В мире научных открытий. – 2010. – № 3-3 (9). – С. 66-69.

УДК 664.162

Шегеда В. А., Денисова О. Н.

*Поволжский государственный технологический университет*

### **ЗАМЕНИТЕЛИ САХАРА: ПОЛЬЗА И ВРЕД**

***Аннотация.** Представлены результаты сравнения позитивных и негативных свойств самых распространённых заменителей сахара.*

***Ключевые слова:** сахара, сахаристые вещества, подсластители, сахарозаменители.*

Сладости являются неотъемлемым атрибутом современности. Но вместе с ростом потребления сахара растёт и число болезней, связанных с обменом веществ: диабета второго типа, ожирения, стоматологических заболеваний и др. Всё острее стоит вопрос о необходимости оптимизации питания людей здоровых и страдающих определенными заболеваниями. По этим причинам всё шире используются известные сахарозаменители, и идёт активный поиск новых. Сейчас многие стараются обходиться без сахара, не добавляя его в чай, кофе и другие виды пищи. Они считают, что употребление сахара сведено к минимуму. Но основная доля сахара попадает к нам в скрытом виде. Его добавляют даже в колбасу и во многие другие продукты, которые мы совсем не воспринимаем как кондитерские изделия. Считается, что заменители сахара менее калорийны и вредны, чем сахар.

**Цель** нашей работы: провести обзор наиболее популярных заменителей сахара, изучить их положительные и отрицательные стороны и влияние на организм человека.

Все сладкие вещества, применяемые в технологии пищевых продуктов, можно разделить на две большие группы (таблица 1):

1. сахара и сахаристые вещества – это соединения природного происхождения, относящиеся к классу углеводов. Они имеют высокую энергетическую ценность, повышают уровень сахара в крови, в их метаболизме принимает участие гормон инсулин.

2. подсластители – это вещества как природного, так и синтетического происхождения, обладающие сладким вкусом, но имеющие низкую энергетическую ценность. Их метаболизм осуществляется без участия инсулина, они не влияют на уровень сахара в крови.

Таблица 1. Группы сладких веществ

Группа	Представители	Применение
Сахара и сахаристые вещества	<i>Моносахариды:</i> глюкоза, фруктоза, ксилоза и др. <i>Дисахариды:</i> лактоза, мальтоза, лактулоза и др.	Применяют без ограничения, руководствуясь вкусом и рецептурой
Подсластители	<i>Полиспирты:</i> ксилит, сорбит, мальтит, лактит <i>Гликозиды:</i> стевииозид, цитроза <i>Подсластители белкового происхождения:</i> монелип, тауматин, талин <i>Искусственные подсластители:</i> сахарин, цикламат, аспартам, сукралоза, ацесульфам калия.	Применяют для придания продукту сладкого вкуса. Внесение подсластителей в изделия ограничивают

Первым заменителем сахара стал сахарин, который случайно синтезировал в 1879 году Константин Фальберг. Спустя пять лет началось его массовое производство. В 1900 году сахарин стали использовать как сахарозаменитель для больных сахарным диабетом, а позже и для всех остальных. Несколько лет спустя были сделаны заявления о том, что сахарин вызывает повреждения внутренних органов и повышает риск развития рака мочевого пузыря. Более поздние исследования не обнаружили никаких последствий для здоровья. Это позволило удалить сахарин из списка канцерогенных продуктов. И сегодня во многих странах проводят исследования с целью поиска естественных низкокалорийных подсластителей, которые не вредны для человеческого организма и отвечают всем современным требованиям. Активно исследуются их достоинства и недостатки.

В таблице 2 представлена информация о полезных и вредных свойствах самых распространённых подсластителей.

Таблица 2. Достоинства и недостатки некоторых подсластителей

Название	Достоинства и недостатки	Энергетическая ценность
Сорбит	+ Повышает количество выработки желудочного сока; + Является желчегонным средством.	2,6 Ккал/г (11 КДж/г)
Ксилит	+ Повышает секрецию желудочного сока + Обладает желчегонным действием. – Обладает слабительным действием.	2,43 Ккал/г (10 КДж/г)
Сахарин	– Присутствует горьковатый привкус; – Провоцирует желчнокаменную болезнь.	–
Цикламат натрия	+ Устойчив к высоким температурам; – Вызывает почечную недостаточность.	0,01 Ккал/г (0,04 КДж/г)
Стевиозид	+ Нормализует артериальное давление; + Налаживает работу ЖКТ; + Выводит токсины; + Содержит калий, необходимый для работы почек и сердца.	0,2 Ккал/г (1 КДж/г)
Аспартам	– В организме распадается на аминокислоты и метанол; – Может вызывать бессонницу, головную боль, ухудшение зрения, депрессию.	3,85 Ккал/г (16 КДж/г)
Сукралоза	+ Имеет привычный вкус сахара; + При нагреве не теряет своих свойств.	–
Ацесульфам калия	– Обладает довольно сильным возбуждающим психику действием	–

### Выводы

1. Натуральный сахар – ценный источник энергии. Само по себе употребление сахара безопасно, вредным является его чрезмерное количество.

2. Большинство известных сахарозаменителей имеют как достоинства, так и недостатки.

3. Стевиозид – гликозид из экстракта растений рода стевия (*Stevia*) – считается одним из лучших сахарозаменителей. Стевиозид зарегистрирован в пищевой промышленности в качестве пищевой добавки E960.

4. Сукралоза (E955) – продукт, полученный в результате хлорирования сахарозы. Благодаря этому процессу, свойства сахарозы изменяются, она имеет нулевой гликемический индекс, но вкус практически полностью напоминает вкус обыкновенного сахара. Относительно поль-

зы и вреда сукралозы очень много споров, но доказать её вред не удалось.

#### Литература

1. Корпачев, В. В. Сахар и сахарозаменители / В. В. Корпачев – Киев: Книга плюс, 2004. – 320 с.
2. Rodin, J., Reed, D., Jammer, L. Metabolic effects of fructose and glucose implications of food intake // Amer. J. Clin. Nutr. – 1988. – Vol. 47. – P. 683–689.
3. Самый лучший и безопасный сахарозаменитель – таблица сравнения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://newsu.ru/produkty/saharozameniteli-razvenchivaem-mify-o-vrede-zdorov-yu-i-vybiraem-proizvoditelya.html#i-6> (дата обращения 13.04.2020).
4. Заменители сахара [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grandars.ru/college/tovarovedenie/zameniteli-sahara.html#a3> (дата обращения 13.04.2020).

УДК 658.58

Дубина К. Н.

Научный руководитель: Барабанова И. А., канд. техн. наук, доцент  
*Брянский государственный технический университет*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ**

***Аннотация.** Работа посвящена разработке рекомендаций по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта средств автоматизации и телемеханики нефтеперекачивающей станции путем применения современных инструментов и методов управления качеством (методологии SWOT-анализа, диаграммы Исикавы, аудита и др.).*

***Ключевые слова:** техническое обслуживание и ремонт (ТОР), средства автоматизации и телемеханики (СА и ТМ), совершенствование, система ТОР.*

Системы технического обслуживания и ремонта (ТОР) являются неотъемлемой частью структуры предприятий по транспортировке нефти. Огромную часть оборудования таких предприятий составляют средства автоматизации и телемеханики (САиТМ). Автоматизация способствует повышению эффективности производства. Для обеспечения бесперебойной работы предприятий нефтегазовой промышленности важно обеспечивать качество технического обслуживания и ремонта средств автоматизации и телемеханики. Именно от правильной организации и точности выполнения работ по ТОР зависит бесперебойное функционирование предприятия, устойчивость, эффективность и работоспособность производственных процессов и снижение потерь при возможных сбоях. На практике обеспечение бесперебойной работы предприятия является очень сложной и иногда невыполнимой задачей, поскольку системам технического обслуживания и ремонта не уделяют должного внимания на предприятиях и оборудование выходит из строя, что ведет к простоям в работе и огромным финансовым потерям. В этой связи поиск и анализ методов возможного улучшения процессов и разработка на их основе рекомендаций по совершенствованию системы технического

обслуживания и ремонта является актуальной задачей для предприятий по транспортировке нефти.

Целью работы является совершенствование системы технического обслуживания и ремонта средств автоматики и телемеханики путем ее приведения в соответствие с требованиями нормативной документации организации (в частности руководящих документов [2]) по транспортировке нефти с применением современных инструментов и методов управления качеством для повышения эффективности функционирования предприятия в целом.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- проведен анализ и дана характеристика производственной деятельности нефтеперекачивающей станции и действующей в ней системы эксплуатации средств автоматики и телемеханики;

- проведен анализ системы технического обслуживания и ремонта средств автоматики и телемеханики в организации;

- проведен анализ общих требований к системам автоматизации и телемеханизации технологических магистральных трубопроводов, контроля технического состояния автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), проведения ТОР и оформления документированной информации по качеству работ;

- разработаны рекомендации по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта средств автоматики и телемеханики (ТОР СА и ТМ) нефтеперекачивающей станции путем анализа системы ТОР, оценки несоответствий и их причин, разработки методов их предупреждения и устранения;

- проведено структурирование автоматизированных систем управления технологическими процессами организации;

- разработана структура и содержание процесса организации и проведения работ по ТОР АСУТП;

- составлены рекомендации по внедрению и проведению аудита технической эксплуатации АСУТП, охраны труда и промышленной безопасности;

- применена методология SWOT-анализа для совершенствования системы ТОР СА и ТМ нефтеперекачивающей станции;

- применен метод построения диаграммы Исикавы для определения причин несоответствий системы ТОР СА и ТМ.

В качестве объекта исследования выбрана система технического обслуживания и ремонта средств автоматики и телемеханики нефтеперекачивающей станции.

В работе разработаны рекомендации по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта средств автоматики и телемеханики организации по транспортировке нефти на примере конкретного предприятия, действующего на территории Брянской области. Предложена и адаптирована для условий системы ТОР СА и ТМ предприятия методология SWOT-анализа, заключающегося в оценке факторов и явлений, которые оказывают влияние на процесс технического обслуживания и ремонта средств автоматики и телемеханики [1]. Применен метод диаграммы Исикавы для совершенствования системы технического обслуживания и ремонта. С помощью данных инструментов управления качеством разработаны методы и пути предупреждения и устранения выявленных несоответствий и проблем системы ТОР. Проанализированы и структурированы имеющиеся системы АСУТП [2] по уровням для удобства выполнения и формирования работ по ТОР АСУТП и сокращения временных затрат персонала. Предложена структура организации и планирования работ ТОР АСУТП, а также рекомендации по проведению аудита технической эксплуатации АСУТП, охраны труда и промышленной безопасности. Применение данных разработок позволит устранить обнаруженные несоответствия, повысить эффективность системы ТОР и предприятия в целом, обеспечить бесперебойную работу оборудования для реализации ключевой цели организации – транспортировки нефти и снизить затраты на выполнение процесса технического обслуживания и ремонта средств автоматики и телемеханики.

Предложенные рекомендации для совершенствования системы технического обслуживания и ремонта средств автоматики и телемеханики рекомендуются для внедрения в деятельность участка эксплуатации средств автоматики и телемеханики, работающего в сфере нефтяной промышленности.

#### Литература

1. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: учеб. пособие / М. М. Кане, Б. В. Иванов, В. Н. Корешков и др. – СПб.: Питер, 2012. – 576 с.
2. РД-35.240.50-168-13 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Техническое обслуживание и ремонт оборудования систем автоматизации и телемеханики. – М.: ПАО «Транснефть – Дружба», 2013. – 157 с.

Казакова Д. К.

Научный руководитель: Ефимова Г. В., канд. техн. наук, доцент  
*Брянский государственный технический университет*

## **УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ Р ИСО 9001-2015 НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПТИЦЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Аннотация.* Работа посвящена разработке методики по совершенствованию процессов, составляющих систему менеджмента качества (СМК) организации путем применения новых концептуальных требований международного стандарта ISO 9001:2015.

*Ключевые слова:* система менеджмента качества, концептуальные требования ISO 9001:2015, риски, менеджмент знаний, улучшение.

Обострение конкуренции на национальном и международном уровнях, внедрение на предприятиях и в организациях систем менеджмента качества, соответствующих международным стандартам ISO 9001 побуждает к необходимости улучшения процессов менеджмента качества на предприятиях. Тот факт, что стандарт ИСО 9001 версии 2015 года содержит ряд новых требований в отношении СМК, предоставляет возможность задействовать их в рамках обеспечения постоянного улучшения данной части общего менеджмента организации применительно к качеству. В этой связи разработка рекомендаций по улучшению системы менеджмента качества посредством образующих ее процессов в соответствии с требованиями новой версии ГОСТ Р ИСО 9001 является актуальной.

Целью работы является разработка рекомендации по совершенствованию процессов МК с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [1] на примере предприятия птицеперерабатывающей отрасли промышленности.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- произведен анализ деятельности и дана характеристика предприятия мясной отрасли промышленности;
- произведена технико-экономическая характеристика и выполнен анализ деловой среды данного предприятия;

- проведен анализ действующей СМК предприятия птицеперерабатывающей промышленности и выявлены проблемы, требующие решения;
- осуществлен анализ текущего состояния деятельности предприятия в области процессного управления, рисков и возможностей, а также менеджмента знаний;
- на основе полученных данных разработаны рекомендации по совершенствованию процессов МК на предприятии.

В качестве объекта исследования выбраны процессы менеджмента качества предприятия птицеперерабатывающей отрасли промышленности.

В настоящей работе предлагается методика по совершенствованию процессов СМК предприятия, которая разработана с учетом типичных в функционировании СМК и её отдельных процессов проблем. Данная методика предусматривает оценку рисков в соответствии с алгоритмом FMEA-анализа и разработку процессно-ориентированной карты знаний для каждого из процессов.

Метод FMEA-анализа видов и последствий отказов технических систем для оценки рисков проведен по специальным шкалам [2]. Последствия рисков оценены по степени их значимости (S) от 1 (для наименее значимых) до 10 (для наиболее значимых). Степень вероятности возникновения риска (O) описана через ранговое число от 1 (для маловероятных) до 10 (для неизбежных). Оценка достоверности идентификации риска (D) оценена по следующей шкале: 1 – для практически достоверно обнаруживаемых рисков; 10 – для практически не обнаруживаемых рисков.

Приоритетное число риска (ПЧР) – комплексный показатель, который характеризует уровень риска, критичность рассматриваемого несоответствия и указывающий на необходимость улучшения объекта анализа. Данная величина вычислена для каждого риска по формуле [3]:

$$\text{ПЧР} = S \times O \times D.$$

Далее осуществлена идентификация всех присутствующих для каждого процесса рисков, а также возможных причин их возникновения и соответствующих последствий. Проведена оценка каждого из выделенных рисков по нескольким критериям S, O и D для вычисления комплексного критерия ПЧР. Осуществлено сравнение полученных значений комплексного показателя ПЧР с установленным граничным, равным  $\text{ПЧР}_{\text{гр}}=100$  с целью определения критических рисков, требующих непосредственного воздействия. В отношении данных рисков разработаны мероприятия по воздействию, результативность которых исследована посредством повторной оценки рисков по вышеприведенным критериям и подсчета ПЧР.

Одним из путей реализации процессного подхода является внедрение концепции процессно-ориентированной карты знаний (ПОКЗ), которая должна разрабатываться для каждого процесса, определенного в реестре процессов системы качества организации.

Процессно-ориентированная карта знаний процесса (ПОКЗ) – формализованное описание его свойств, характеристик и функций. В своем составе имеет такие разделы, как: 1) общие сведения; 2) результаты процесса и их потребители; 3) внешние поставщики и входы процесса; 4) виды деятельности в рамках процесса, управления и требуемые ресурсы [4].

Основными элементами ПОКЗ установлены: знания о поставщиках входов; знания о входах; знания о видах деятельности в рамках данного процесса; знания о ресурсах; знания о выходах; знания о потребителях выходов; знания об управлении процессом.

Карта знаний составлена с графическими пояснениями, наглядно отражающими место описываемого процесса в структуре процессов СМК организации. Составной частью карты знаний указаны также приложения: «Планирование пополнения знаний о процессе»; «Мероприятия по улучшению процесса».

В результате предложенная методика улучшения процессов, входящих в реестр СМК, позволяет грамотно выявлять необходимость и непосредственно проводить корректирующие и предупреждающие действия, направленные на улучшение процессов менеджмента качества организации в рамках проведения оценки рисков, а также реализовать все преимущества процессного подхода применительно к управлению предприятием и знаниями, в частности, путем разработки ПКЗ для каждого из процессов МК.

#### Литература

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 01.11.2015. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Стандартинформ, 2015. – 32 с.
2. Мирошников, В. В. Совместное управление возможностями и рисками процессов в системе менеджмента качества / В. В. Мирошников, Г. В. Ефимова, Н. М. Борбац // Компетентность. – 2017. – №7. – С. 40-45.
3. Мирошников, В. В. Модель комплексного многоуровневого ФМЕА-анализа сложных систем: монография / В. В. Мирошников, Н. М. Борбац, Т. П. Деметьева; под ред. О. А. Горленко. – Брянск: БГТУ, 2012. – 124 с.
4. Мирошников, В. В. Организация менеджмента знаний на предприятии / В. В. Мирошников, Г. В. Ефимова, Н. М. Борбац // Качество и жизнь. – 2017. – №4. – С. 18-22.

Содикова М. Р., Джалилов А. Т., Таджиходжаев З. А.  
Ташкентский химико-технологический институт,  
Ташкентский научно-исследовательский институт химической  
технологии, Узбекистан

## ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

***Аннотация.** Предложена интерпретация (методология) создания новых кодов для химической продукции – ингибиторов коррозии металлов с учётом их качественных, структурных и технологических показателей и применения предложенных кодов в совершенствовании ТН ВЭД Республики Узбекистан. Использование вторичных материальных ресурсов позволяет пересмотреть закономерности их классификации, стандартизации и сертификации по ТН ВЭД, исходя из их природы, состава, происхождения и других показателей.*

***Ключевые слова:** ТН ВЭД, техническое регулирование, ингибитор коррозии, вторичные материальные ресурсы, химическая продукция.*

С целью идентификации в практической деятельности используется, прежде всего, Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза (ТН ВЭД ЕАЭС) или ТН ВЭД отдельно взятой страны, пояснения, база классификационных решений. Однако при возникновении затруднений в идентификации и определении кода дополнительно могут использоваться также и нормативные документы по стандартизации и техническому регулированию в части терминологии и способа получения товарной продукции.

Постоянное развитие технологий производства товаров, изменение потребительского спроса приводит к постепенному появлению новых видов продукции, что вызывает необходимость внесения изменений в указанные выше источники информации или даже разработку нового документа с характеристикой продукта нового вида. При этом нормативные документы на товары изменяются быстрее, чем товарная номенклатура, которая основана на гармонизированной системе описания и кодирования товаров, и не может быть изменена в одностороннем порядке при изменении ассортиментного перечня товаров отдельно взятого государства.

Эффективная работа по совершенствованию национального классификатора – товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельно-

сти Узбекистана (ТН ВЭД РУз), а также контроля его практического применения является одним из решающих факторов успешного выполнения задач по регулированию внешнеэкономической деятельности, формированию достоверной статистики, обеспечению и усовершенствованию механизмов классификации товаров и правильного формирования кодов.

Целью исследований является детализация ТН ВЭД и его подсубпозиций для антикоррозионных материалов – ингибиторов коррозии металлов в целом и полученных на основе или содержащих вторичные материальные ресурсы.

Для достижения поставленных целей проработаны вопросы определения потенциальных факторов риска при классификации товаров в соответствии с ТН ВЭД РУз, оценки возможного ущерба в случае их возникновения.

Рассмотренная нами группа 38 «Прочие химические продукты», по ТН ВЭД ЕАЭС насчитывает всего 192 кода. Подгруппа 3811 Антидетонаторы, антиоксиданты, ингибиторы смолообразования, загустители, антикоррозионные вещества и присадки готовые прочие к нефтепродуктам (включая бензин) или другим жидкостям, используемым в тех же целях, что и нефтепродукты. В данной группе представлены антидетонаторы, которые насчитывают всего 3 кода, и присадки к смазочным маслам, насчитывают всего 2 кода, т. е.:

–антидетонаторы: 3811 11 – на основе соединений свинца и 3811 19 – прочие

– присадки к смазочным маслам: 381121 – содержащие нефть или нефтепродукты, полученные из битуминозных пород и группы 3811 29 и 3811 90 – прочие, которые могут включать:

- материалы, оборудование, вещества, устройства, применяемые в сфере хозяйственно-питьевого водоснабжения и при очистке сточных вод, в плавательных бассейнах;
- химическая и нефтехимическая продукция производственного назначения, продукция (товары) бытовой химии, лакокрасочные материалы;
- продукция машиностроения и приборостроения производственного, медицинского и бытового назначения, кроме запасных частей к транспортным средствам и бытовой технике (за исключением контактирующих с питьевой водой и пищевыми продуктами);
- пестициды и агрохимикаты;
- оборудование, материалы для воздухоподготовки, воздухоочистки и фильтрации;

- антигололедные реагенты.

Анализ терминов антикоррозионные вещества 38 группы не раскрывает сущности и вида данной продукции, и это позволило выделить основные классификационные признаки продукции: вид продукции, вид используемого сырья, в данном случае могут быть вторичные материальные ресурсы и технологии производства. Необходимо заметить, что вопросы классификации химических продуктов на основе различных вторичных материальных ресурсов остаются не раскрытыми.

Реализация вторичных материальных ресурсов даст толчок на систематизацию и создание базы данных источников образования вторичных материальных ресурсов и предприятий, имеющих нереализованное вторичное сырьё.

Направление по использованию вторичных материальных ресурсов позволит пересмотреть закономерности их классификации, стандартизации и сертификации по товарной номенклатуре внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД), исходя из их природы, состава, происхождения и других показателей.

#### Литература

1. Андреева, Е. И. Идентификация товаров при проведении таможенной экспертизы: монография / Е. И. Андреева. – М.: Изд-во РТА, 2013. – 170 с.
2. Федотова, Г. Ю. Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности: уч. пособие / Г. Ю. Федотова. – СПб.: Троицкий мост, 2013. – 408 с.
3. Islomova, S. T., Xamraqulov, G., Baxtiyorova, L., Xamraqulov, M. Identification and classification of goods 32 groups of the commodity nomenclature of foreign economic activity of the Republic of Uzbekistan // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – №7-8. – Vienna. –2015. – P. 46-52.
4. К вопросу о классификации переработанного сырья и реализуемой на их основе продукции по товарной номенклатуре внешнеэкономической деятельности / Р. К. Мурзаев, А. Т. Джалилов, М. Р. Содикова и др. // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». – 2018. – №3(81).

УДК 621.75

Абрамов Р. В.

Научный руководитель: Польский Е. А., канд. техн. наук, доцент  
*Брянский государственный технический университет*

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ  
ПРЕСС-ФОРМ НА ЭТАПАХ  
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ  
ПРОИЗВОДСТВА**

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы обеспечения долговечности элементов формообразующей оснастки для изготовления деталей на термопластавтоматах на этапах конструкторско-технологической подготовки производства.*

***Ключевые слова:** качество поверхности, контактная жесткость, подготовка производства.*

При производстве корпусных изделий из неметаллических материалов широко применяется технология формообразования из расплавленного полимерного материала на термопластавтоматах. Требуемые параметры по точности и качеству изделий обеспечиваются за счет формообразующей оснастки пресс-форм.



Сборная конструкция формообразующих элементов пресс-формы

В настоящее время все большее применение находят сборные конструкции формообразующих элементов пресс-формы (рисунок).

Основным выходным параметром при изготовлении цельной гребенки или сборки многоэлементной конструкции является размер между формообразующими элементами. При этом необходимо учитывать все параметры, оказывающие влияние на этот размер: элементарные составляющие погрешности обработки, погрешность установки элемента в корпус пресс-формы, контактные деформации при сборке многоэле-

ментной конструкции, а также изменение размера при эксплуатации [1].

В общем случае работоспособность объекта, качество его функционирования определяется не одним, а совокупностью  $s$  выходных параметров состояния  $z_1, z_2, \dots, z_i$ , которые можно считать компонентами некоторого вектора  $Z$ . Тогда пространство состояний некоторой граничной поверхностью  $\omega$  можно разделить на две области: область  $\Omega$  работоспособных состояний и область отказов. Безотказность в этом случае определяется как вероятность того, что за время функционирования системы  $T$  параметры состояния  $z_i$  не выходят за соответствующие границы  $R_{i1}$  и  $R_{i2}$ :

$$\begin{aligned} P(T) &= P\{Z \in \Omega / t \leq T\} = \\ &= P\{R_{11} < z_1 < R_{12}, R_{21} < z_2 < R_{22}, \dots, R_{s1} < z_s < R_{s2} / t \leq T\} \end{aligned}$$

Таким образом, решение задачи оптимального распределения величины допуска на эксплуатационные звенья сборочной размерной цепи узла и назначение обоснованных требований по качеству поверхности для обеспечения требуемой надежности возможно при условии определения весовых коэффициентов, устанавливающих значимость влияния того или другого эксплуатационного свойства в элементарном прототипе. Назначение весовых коэффициентов при условии максимальной вероятности безотказной работы контактирующей пары является необходимым условием для разработки автоматизированной подсистемы технологического обеспечения надежности машины на этапах анализа размерных связей при конструкторско-технологической подготовке производства.

#### Литература

1. Сулов, А. Г. Научно-технологическое обеспечение качества сборочных единиц машин на этапах жизненного цикла / А. Г. Сулов, О. Н. Федонин, Е. А. Польский // Научно-технологические проблемы машиностроения. – 2016. – №5 (59). – С. 34-42.
2. Польский, Е. А. Технологическое обеспечение наработки на отказ формообразующей оснастки пресс-форм на основных этапах жизненного цикла // Обеспечение и повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической техники: матер. междунар. науч.-тех. конф. 19-20 февраля 2020 г. – Брянск: БГТУ, 2020. – С. 165-168.

Воронина И. Д.

Научный руководитель: Сорокин С. В., канд. техн. наук, доцент  
*Брянский государственный технический университет*

## **МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

*Аннотация.* В статье рассмотрена модель технологического обеспечения параметров точности и качества поверхности сложнопрофильных высоконагруженных деталей экструдера с учетом составляющих суммарной погрешности обработки.

**Ключевые слова:** качество поверхности, эксплуатационные свойства, модель механической обработки.

Шнек экструдера представляет собой сборную конструкцию, состоящую из секторов, установленных на шлицевый вал. Сектор (рис. 1) имеет несколько функциональных поверхностей, в том числе сложнопрофильные «перья», обеспечивающие транспортировку твердых частиц проталкиванием вдоль вращающейся поверхности внутри трубы за счет установленного винтового профиля.



Рис. 1. Сектор шнека экструдера

Технологический процесс получения секторов включает в качестве основной операции профильное фрезерование несколькими фрезами, имеющими различный профиль режущей части для достижения геометрических показателей профиля конструктивных элементов и параметров качества поверхностей (рис. 2).

После заключительного этапа механической обработки – чистового фрезерования – производится химико-термическая обработка шнека в

виде борирования, что ещё более ужесточает требования к качеству поверхности изделия, т. к. при данном способе обработки должны быть исключены задиры, перепады высот между ребрами и прочие погрешности.



Рис. 2. Применяемые фрезы компании «Искар»

При фрезеровании концевыми фрезами, установленными на оправке с большим вылетом, силы резания будут оказывать значимое воздействие на формирование требуемой точности размеров и качества поверхности сложнопрофильных «перьев» сектора (рис. 3) [1].

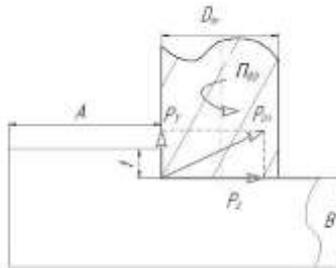


Рис. 3. Силы резания при фрезеровании концевыми фрезами

Учитывая допуск на обрабатываемую поверхность и величину смещения  $\Delta$  на произвольном участке траектории, можно преобразовать модель обрабатываемой поверхности [2]. Но данный способ не находит широкого применения, так как это требует дополнительных временных затрат по изменению модели. Кроме того, операции перестроения не всегда доступны, так как модель детали может не иметь дерева построения, например, импортировалась из другой системы, или в детали могут «вырождаться» отдельные поверхности.

#### Литература

1. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А. Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.: ил.
2. Сулов, А. Г. Научно-техническая работа по повышению качества сборочных единиц машин на этапах жизненного цикла / А. Г. Сулов, О. Н. Федонин, Е. А. Польский // Научно-технические работы в машиностроении. – 2016. – №5 (59). – С. 34-42.

Лаптев С. Н.

Научный руководитель: Алибеков С. Я., д-р техн. наук, профессор  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

***Аннотация.** Рассмотрены методы получения отливок из алюминиевых сплавов: литьё в кокиль и литьё под давлением. Приведены достоинства и недостатки каждого метода. Обосновывается выбор оптимального метода получения отливок сложной формы из алюминиевых сплавов.*

***Ключевые слова:** литье под давлением, литье в кокиль, алюминиевые сплавы, пресс-форма, кокиль.*

Наиболее популярным методами литья алюминия на современных производствах являются литьё под давлением и литьё в кокиль. Каждый из методов имеет ряд особенностей. Целью работы является сравнение двух способов литья и выбор наиболее привлекательного из них для получения алюминиевых отливок.

Процесс получения заготовок литьём под давлением заключается в впрыскивании предварительного расплавленного металла в пресс-форму под высоким давлением (от 100 атм.). Охлаждение отливки проходит под сохраняющимся давлением. Метод осуществляется с помощью специальных литейных машин, которые производят впрыск за десятые и даже сотые доли секунды, что значительно ускоряет получение заготовок.

К достоинствам данного метода относится высокая точность полученных отливок. Так, можно получать отливки классом точности от 5 качества и грубее. Причем отливки можно получать с толщиной стенки до 1 мм. Также из-за постоянного давления, которое поддерживается на протяжении затвердевания отливки, и быстрого заполнения расплавленным металлом пресс-формы можно получать шероховатость со значениями Ra 3,2. Литье под давлением позволяет получать отливки сложной формы с малыми припусками под механообработку, что снижает время производства партии изделий.

Существенным недостатком литья под давлением является пористость в массивных частях отливок. Ввиду быстрого впрыска расплавленного металла под высоким давлением часть воздуха остается в пресс-форме, что повышает пористость и снижает пластичность мате-

риала. Также к минусам данного метода относится ограниченность размеров и масс отливок, которые можно получить на литейных машинах. Максимальный вес отливки доходит до 50-80 кг.

Процесс литья в кокиль состоит из предварительного расплава алюминия в печи, заливки его ковшем в кокиль и последующем затвердевании отливки. Кокиль представляет собой металлическую форму, которую многократно используют. Одну форму можно использовать для десятков тысяч отливок. Затвердевание заготовки происходит за счет интенсивного отвода тепла к кокилю.

Есть ряд достоинств метода литья в кокиль. Одно из них – это возможность получения сложных отливок благодаря использованию кокилей с комбинированным разъемом. Отливки из алюминиевых сплавов при литье в кокиль имеют высокую точность размеров – 6-9 квалитет. Масса отливок может достигать нескольких сотен килограммов. К недостаткам же относится неподатливость кокиля, что приводит к внутренним напряжениям, а впоследствии и трещинам в отливках.

Методы литья алюминия в кокиль и под давлением при изготовлении сложных отливок являются дорогими из-за сложности изготовления пресс-формы. Оба метода автоматизированы и используются в крупносерийном и массовом производстве. Стоимости литейных и кокильных машин близки. Однако, сравнивая два метода, можно прийти к выводу, что получение отливок из алюминия небольших размеров и весов литьём под давлением является предпочтительным, так как точность размеров и шероховатость поверхности будет выше, чем при литье в кокиль. Также при литье под давлением припуски на механическую обработку будут меньше. Сам процесс получения отливки литьём под давлением будет более высокопроизводительным, поскольку металл заполняет форму за доли секунды.

Таким образом, метод литья алюминия под давлением является предпочтительным, чем литьё в кокиль при массовом производстве малогабаритных отливок.

#### Литература

1. Технология конструкционных материалов: учеб. для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухарин и др.; под общей ред. А. М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.
2. Литье под давлением / М. Б. Беккер, М. Л. Заславский, Ю. Ф. Игнатенко и др. – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

Патерюхин И. С.

Научный руководитель: Алибеков С. Я., д-р техн. наук, профессор;

Крысь Н. А., PhD, доцент

*Поволжский государственный технологический университет*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СПЕЧЕННЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

*Аннотация.* Представлена методология исследования свойств спеченных твердых сплавов.

*Ключевые слова:* твердые сплавы, металлографическое исследование.

Свойства спеченных твердых сплавов в значительной степени определяются их структурой, в связи с чем каждая партия любой марки сплава подвергается металлографическому исследованию, которое проводится на предварительно подготовленных шлифах.

Шлифы изготавливают согласно ГОСТ 9391-80 по Приложению 2. Каждая операция шлифования и полирования проводится до полного исчезновения рисок от предыдущих операций. После протирки их спиртом образцы подвергаются исследованию согласно ГОСТ 9391-80. На нетравленном шлифе при увеличении в 100 или 200 раз определяют степень пористости и содержание структурно свободного углерода, сравнивая с микрофотографиями шкалы пористости по ГОСТ 9391-80.

Содержание свободного углерода определяют просмотром нетравленного шлифа при увеличении в 100 или 200 раз. Характерный участок сравнивают с микрофотографиями шкалы С1 ГОСТа 9391-80, тем самым определяя процентное содержание углерода.

Для выявления фазы типа  $\eta$  проводят травление шлифа по режиму 1 ГОСТ 9391-80. Данная фаза типа  $\eta$  может распределяться по периферии, в центре или по всей площади шлифа в форме «озерков», «кружев» или по границам раздела фаз. После травления всю площадь шлифа просматривают под микроскопом при увеличениях от 100 до 1500, в случае необходимости.

Для выявления  $\alpha$ -фазы в сплавах вольфрамовой группы проводят травление по режиму 2, а затем, после промывки водой, по режиму 3 ГОСТа 9391-80. Травленные шлифы мелко-, средне- и крупнозернистых сплавов исследуют при увеличении 1250-1500, особокрупнозернистых – при увеличении 400-500.

Размер зерна  $\alpha$ -фазы по эталонным фотографиям определяют сравнением участка, полностью представляющего исследуемую площадь шлифа, с микрофотографиями приложения 7 и оценивают как  $\alpha$ -фаза мелкозернистая, среднезернистая и крупнозернистая.

Для оценки размера зерна  $\gamma$ -фазы в сплавах титано-вольфрамовой и титано-тантало-вольфрамовой группы травление шлифа может быть выполнено двумя способами.

По первому способу травлению подвергают половину площади шлифа по режиму 4, а затем, после тщательной промывки проточной водой и сушки на фильтровальной бумаге, всю поверхность шлифа травят по режиму 5. Микрофотографии травленных лифов приведены в справочном приложении 3.

По второму способу половину шлифа травят по режиму 3. На травленной поверхности шлифа при увеличении 1250-1500 оценивают размеры зерна  $\gamma$ -фазы точечным методом или по эталонным фотографиям. Оценку размера зерна  $\gamma$ -фазы точечным методом проводят, как указано в пункте 4.5.3. ГОСТа 9391-80. Размер зерна  $\gamma$ -фазы по эталонным фотографиям определяют сравнением участка, полностью представляющего исследуемую площадь шлифа, с микрофотографиями приложения 7 и оценивают как  $\gamma$ -фаза мелкозернистая, среднезернистая и крупнозернистая.

Согласно ГОСТ 3882-74 на марки спеченных твердых сплавов в ОТК обязательно определяют химический состав, предел прочности при изгибе, плотность, коэрцитивную силу и твердость.

Коэрцитивную силу определяют по намагниченности на коэрцитиметре (типа ИКС). Для испытаний от партии отбирают не менее 10-15 образцов определенного размера и массы. За величину коэрцитивной силы партии принимают среднее арифметическое значение. По величине коэрцитивной силы качественно судят о зернистости сплава (размеру карбидной фазы).

Испытание трехточечным поперечным изгибом образцов спеченных твердых сплавов является наиболее распространенным и массовым видом испытаний для оценки механических свойств вследствие несложности изготовления образцов (штабик), быстроты и простоты испытания.

Испытания проводят на машинах высокой жесткости со специальным приспособлением.

Твердость спеченных твердых сплавов по Роквеллу относится к статическим методам механических испытаний, при которых нагрузка передается путем создания контактного напряжения при медленном и непрерывном вдавливании алмазного наконечника при нагрузке 60 кг. Каждый образец испытывают в 3-5 точках.

Возможно измерение твердости и по Виккерсу. Метод основан на том, что правильная четырехгранная алмазная пирамида с углом между гранями  $136^\circ$  вдавливается в твердый сплав под определенной нагрузкой (10...50 кг). Затем измеряют диагональ отпечатка. От партии металла отбирают 3–5 образцов и проводят замер.

**Плотность.** Определение плотности в порошковой металлургии сопровождает практически все исследования, связанные с установлением любых закономерностей и определением физико-механических свойств, являясь одним из основных методов контроля готовых изделий. Это объясняется тем, что свойства спеченных материалов в значительной степени зависят от их относительной плотности.

Абсолютную плотность определяют делением массы изделия на его объем. Объем изделия определяют гидростатическим взвешиванием (можно расчетом) в дистиллированной воде. [1].

#### Литература

1. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов: курс лекций / В. С. Панов, В. Н. Шуменко. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 144 с.

УДК 621.762

Сараев Д. Е.

Научный руководитель: Крашенинникова Н. Г.,  
д-т с учен. степ. канд. наук; уч. ст.: канд. физ.-мат. наук  
*Поволжский государственный технологический университет*

### **ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ Порошковых сталей**

*Аннотация.* Рассмотрены особенности и основные проблемы проведения термообработки порошковых сталей и возможные пути их решения.

*Ключевые слова:* порошковые стали, термическая обработка, закалка, виды, режимы.

В настоящее время происходит активное вытеснение традиционных методов изготовления деталей конструкционного назначения методами порошковой металлургии. При этом постоянно возрастают требования к физико-механическим свойствам изделий, в связи с чем возникает необ-

ходимость в применении различных вариантов термической и химико-термической обработки изготавливаемых деталей.

Каждая частица порошка металла имеет ту же структуру, что и компактный металл, и испытывает при нагреве и охлаждении такие же превращения, поэтому порошковые стали, так же, как и обычные, могут упрочняться термической обработкой. Однако надо учитывать, что порошковые стали резко отличаются от литых по структуре и термодинамическому состоянию, поэтому проведение их термообработки имеет ряд особенностей.

Прежде всего, необходимо учитывать, что порошковые материалы обладают большой активной поверхностью, в связи с чем во избежание окисления их нагрев необходимо проводить в защитной атмосфере.

Режимы термической обработки порошковых сталей также отличаются от режимов, применяемых для обычных сталей. Порошковые материалы являются наследственно мелкозернистыми, поэтому их закалка может проводиться с более высоких температур по сравнению с закалкой литых сталей того же химического состава.

Наличие пор значительно снижает теплопроводность материала, что влияет на скорости как нагрева, так и охлаждения.

Из-за пониженных теплофизических и прочностных свойств порошковые стали более чувствительны к тепловым ударам. Неоднородность материала при резком охлаждении приводит к появлению значительных неравномерно распределенных термических и фазовых напряжений, что отражается на структуре материала, приводит к появлению микротрещин и в дальнейшем к выходу деталей из строя.

В связи с наличием отмеченных проблем упрочнение порошковых сталей объемной закалкой и отпуском пока не получило широкого распространения.

Разрабатываются и другие варианты закалки порошковых сталей. В работе [1] исследован процесс закалки нагревом в соляной ванне состава 80-85%  $\text{BaCl}_2$ , 20-15%  $\text{NaCl}_2$ . Время термообработки в соляных ваннах в 5-10 раз меньше, чем при печном нагреве, а сам процесс легко поддается автоматизации. Глубина проникновения солей зависит от пористости исходного материала. Уменьшение пористости на 10% с 25 до 15% приводит к уменьшению проникновения соли с 5-6 мм до 0,05 мм. Технологический процесс должен обязательно заканчиваться отмывкой обработанных деталей, пассивацией и пропиткой.

Наиболее перспективным способом нагрева заготовок представляется индукционный нагрев, так как он происходит с большой скоростью, за 3-5 секунд. За это время деталь не успевает окислиться и отпадает

необходимость в использовании защитных сред, что существенно упрощает процесс термообработки. Кроме того, быстрый нагрев детали обеспечивает получение мелкозернистой структуры, снижает обезуглероживание поверхностных слоев, что значительно повышает механические свойства материала детали. Термообработка с использованием ТВЧ обеспечивает более высокую твердость в сравнении с термообработкой в расплавах солей. [2].

Свойства термически обработанных деталей могут быть существенно повышены снижением общей пористости материала, а также рациональным легированием.

Таким образом, проведение термической обработки порошковых сталей является непростой задачей. Проблема упрочнения порошковых материалов термообработкой сохраняет свою актуальность и находится в постоянном развитии.

#### Литература

1. Богодухов, С. И. Термическая обработка порошковых сталей с нагревом в расплаве солей / С. И. Богодухов // Проблемы современных материалов и технологий: сборник матер. – Пермь: изд-во ПГТУ, 1992. – С. 118-128.
2. Богодухов, С. И. Упрочнение порошковых сталей с использованием скоростного нагрева / С. И. Богодухов // Машиностроитель. – 1999. – №10. – С. 38-40.

УДК 539.376

Сергеев В. Ю.

Научный руководитель: Крашенинникова Н. Г.,  
д-т с учен. степ. канд. наук; уч. ст.: канд. физ.-мат. наук.  
*Поволжский государственный технологический университет*

### **ВИТРИМЕРЫ: СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

***Аннотация.** Рассматривается новый класс материалов – витримеры, сочетающие в себе лучшие свойства термопластичных и термореактивных полимеров, их характеристики и перспективы использования.*

***Ключевые слова:** витримеры, термопластичные полимеры, термореактивные полимеры, стеклообразователи, структура, характеристики.*

Витримеры представляют собой новый класс полимерных материалов, созданный французским ученым Людвигом Лейблером, удостоенным за эту разработку премии «Европейский изобретатель года – 2015» в категории «Исследования».

Они объединяют лучшие свойства двух групп пластмасс – термопластов и реактопластов, поэтому дальнейшие исследования в области разработки и применения материалов этой группы чрезвычайно актуальны.

Как известно, макромолекулы термопластов связаны слабыми межмолекулярными взаимодействиями (силами Ван-дер-Ваальса). В связи с этим термопласты плавятся при нагревании и легко перерабатываются в изделия литьем под давлением или экструзией, но имеют невысокие прочность и теплостойкость, склонны к ползучести, восприимчивы к растворителям.

В реактопластах (пластмассах на основе термореактивных полимеров) полимерные цепи «сшиты» жесткими поперечными связями, что обеспечивает более высокую прочность, жесткость, теплостойкость материалов этой группы, но затрудняет их переработку: отверждение и формирование окончательной структуры реактопласта происходит только после оформления в изделие. Отвержденный полимер теряет способность плавиться и перерабатываться повторно.

Если цепи удерживать вместе обратимыми прочными ковалентными связями, полученный полимер будет обладать преимуществами как термопластов, так и термореактивных материалов.

Витримеры состоят из молекулярных ковалентных сетей, которые могут изменять свою топологию путем термически активируемых реакций обмена связями. При высоких температурах они могут течь, как вязкоупругие жидкости, при низких температурах реакции обмена связями замораживаются, и витримеры ведут себя как классические термореактивные материалы. Таким образом, витримеры объединяют желательные свойства обоих классов: они обладают механическими и термическими свойствами термореактивных материалов, а перерабатываться в изделия могут методами, принятыми для термопластов.

Еще одно ценное свойство витримеров – они являются сильными стеклообразователями. При нагреве кварцевого стекла выше температуры стеклования его вязкость снижается очень медленно, в связи с чем стеклянные изделия получают выдуванием.

В отличие от кварцевого стекла, органические полимеры являются хрупкими стеклообразователями, их вязкость быстро уменьшается при нагревании выше температуры стеклования, что осложняет использование для них обычной для кварцевого стекла технологии формования изделий.

Витримеры являются первым обнаруженным материалом, который может вести себя как вязкоупругая жидкость при высоких температурах, поскольку, в отличие от классических полимерных расплавов, витримеры становятся вязкоупругой жидкостью из-за реакций обмена при высоких температурах.

Их поведение открывает новые возможности в применении материалов, таких как самовосстановление или простота обработки в широком диапазоне температур. Витримеры можно использовать для создания объектов с адаптируемыми формами, конструкционных материалов, не генерирующих трещины (что особенно ценно, например, в самолетостроении) или пластиковых покрытий, которые можно было бы восстанавливать путем нагрева.

Таким образом, витримеры могут быть новым и многообещающим классом материалов с множеством применений.

#### Литература

1. Земсков, Ю. П. Материаловедение: учебное пособие / Ю. П. Земсков. – СПб.: Лань, 2019. – 188 с.
2. Brutman, Jacob P.; Delgado, Paula A.; Hillmyer, Marc A.. «Poly lactide Vitrimers». 2014. ACS Macro Letters. 3 (7): 607-610.
3. From glass to vitrimers: a story of exchangeable links [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://youtu.be/cR\\_iiKrpCIQ](https://youtu.be/cR_iiKrpCIQ) (дата обращения 15.03.2020).
4. Epoxy Vitrimers: The Effect of Transesterification Reactions on the Network Structure. January 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/322237227\\_Epoxy\\_Vitrimers\\_The\\_Effect\\_of\\_Transesterification\\_Reactions\\_on\\_the\\_Network\\_Structure](https://www.researchgate.net/publication/322237227_Epoxy_Vitrimers_The_Effect_of_Transesterification_Reactions_on_the_Network_Structure) (дата обращения 14.03.2020).

Сластикова С. В., Патерюхин И. С., Лежнин Р. А., Алибеков С. Я.  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИЗДЕЛИЙ**

***Аннотация.** Статья посвящена электроискровому легированию, упрочнению деталей и режущих инструментов с помощью внедрения ВК-сплавов в сочетании с медными сплавами, с целью повышения физико-механических свойств поверхностей.*

***Ключевые слова:** электроискровое упрочнение, легирование, ВК-сплавы, режущий инструмент.*

В машиностроении для повышения срока службы, надежности и эксплуатационных свойств изделий их подвергают различными методами упрочнения.

Эти методы можно подразделить на 3 группы:

- термические,
- термохимические,
- термомеханические.

Наиболее часто применяемые в настоящее время методами являются термохимические, так как они позволяют изменить как структуру, так и состав путем легирования поверхностных слоев изделий.

На предприятиях широко используют химикотермическое упрочнение в виде цементации, азотирования и диффузионной металлизации. Эти методы по скорости и эффективности уступают современным методам упрочнения типа PVD и CVD – физическое и химическое осаждение металлов на поверхность изделий. Широко используют на специализированных предприятиях лазерные, магнетронные и плазменные методы, но они не доступны для других предприятий, нет опытных специалистов для работы по этим технологиям.

На наш взгляд, доступным и экономичным методом является электроэрозионное легирование наружных и внутренних поверхностей машин, режущего инструмента и нанесение функциональных покрытий.

При этом в качестве наносимого материала используются порошки из различных сплавов, так и чистые металлы в виде проволоки и прутков.

В данной работе представлены результаты электроэрозионного упрочнения режущих кромок деревообрабатывающих инструментов, изготовленных как из среднеуглеродистых, так и из высокоуглеродистых сталей.

Для упрочнения режущих инструментов использовали установку UR-121. В качестве катодов использовали металлокерамические сплавы ВК6, Т15К6, ВКС, С, Си и их соединения Си-ВК6, Си-Т15К6, БрА5-ВК6 и другие. Это позволяет легко вводить в состав тугоплавкие соединения, обладающие высокой твердостью, теплостойкостью и значительно повышает износостойкость.

Упрочнение проводили на различных частотах. Твердость поверхностного слоя увеличивает на  $15 \div 20\%$  по сравнению с исходным.

Металлографическим анализом определили глубину проникновения диффузионных элементов, их глубина составляет  $0,3 \div 0,5$  мм.

Проведенные опытные испытания на режущих инструментах показали, что износостойкость увеличивается в 1,5 раза и естественно увеличивается срок службы.

В настоящее время ведутся исследования по определению теплостойкости и скорости резания упрочненных инструментов по сравнению с неупрочненными.

На наш взгляд, недостатком данного метода является небольшая глубина внедрения легирующих элементов. При электроискровом легировании на поверхности изделия образуется неравномерный слой покрытия. Для получения равномерного слоя покрытия необходимо электрод «анод» держать на определенном расстоянии и водить плавно по поверхности упрочняемых поверхностей. После нанесения легирующих элементов поверхность шлифовали для получения равномерного гладкого покрытия.

Таким образом, нами установлено, что электроэрозионная обработка поверхности режущих инструментов повышает твердость, износостойкость, теплостойкость и срок службы деталей и инструментов.

Данный метод позволяет получать на поверхности функциональные покрытия, например, нанесение меди серебра на контактные поверхности уменьшает переходное напряжение и повышает электропроводимость контактов. Использование электроискрового легирования применяют для исправления небольших дефектов на поверхности конструкционных изделий и восстанавливать изношенные поверхности деталей.

Смирнов М. В.

Научный руководитель: Довыденков В. А., д-р техн. наук  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ**

***Аннотация.** Рассмотрены этапы и области применения математического моделирования для построения моделей сварочных систем.*

***Ключевые слова:** сварка, моделирование.*

Для моделирования сварочных процессов широко применяют компьютерное моделирование.

Математическая модель – это эквивалент объекта, отражающий в математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие составляющим его частям.

Математическая модель разрабатывается по пути модель-алгоритм-программа. Создав математическую модель, исследователь получает в руки универсальный и гибкий инструмент, который вначале отлаживается, тестируется в пробных вычислительных экспериментах. После того, как адекватность математической модели исходному объекту установлена, с ней проводятся разнообразные и подробные опыты, дающие все требуемые качественные и количественные свойства и характеристики объекта.

Математическое моделирование незаменимо в тех случаях, когда натурный эксперимент невозможен или проведение большего количества экспериментов экономически не целесообразно. Однако такой эксперимент с успехом можно провести на компьютере, построив математическую модель изучаемого процесса.

Основные этапы математического моделирования

1. Построение модели. На первом этапе задается объект для исследования. Четкое описание ситуации затруднено. Выявляются основные особенности объекта и связи между ними на качественном уровне. Найденные качественные зависимости формулируются на языке математики в математическую модель.

2. Решение математической задачи, к которой приводит модель. На этом этапе проводится разработка алгоритмов и численных методов

решения задачи, при помощи которых результат может быть найден с необходимой для эксперимента точностью.

3. Интерпретация полученных следствий из математической модели. Следствия, выведенные из модели на языке математики, интерпретируются на языке, принятом в данной области.

4. Проверка адекватности модели. На этом этапе выясняется, согласуются ли результаты эксперимента с теоретическими следствиями из модели в пределах определенной точности.

5. Модификация модели. На этом этапе проводят упрощение модели для достижения практически приемлемого решения, либо усложнение модели для более адекватной действительности.

Математическое моделирование процессов сварки охватывает следующие области:

1. Прямое и обратное математическое моделирование и оптимизацию сварочных процессов. Проводится разработка алгоритмов, математических моделей процесса сварки и компьютерных программ. Решение данной задачи позволяет определить оптимальные режимы сварки.

2. Теорию сварочных деформаций и напряжений. Проводится разработка механических моделей и алгоритмов, решение задач теории термопластичности методом конечных элементов, методом уменьшения временных и остаточных деформаций и напряжений. Любая сварочная операция, связанная с нагревом, неизбежно приводит к изменению формы конструкции и возникновению в ней временных и остаточных деформаций. Решение данных задач позволяет определить, какие напряжения и деформации возникнут в конструкции при данной технологии сварки в зависимости параметров сварки.

3. Тепловые процессы при сварке. Позволяет провести решение задач теплопроводности аналитическими и численными методами. Позволяет определить, как распределяется тепло при сварке в изделии, так как от этого зависит форма сварного шва, размеры зоны термического влияния, временные и остаточные деформации и напряжения, время пребывания металла в критическом диапазоне температур, когда происходят структурные превращения.

4. Диффузионные процессы при сварке. Проводится разработка физико-математических моделей, анализ химической микро- и макронеоднородности сварных соединений. Математическое моделирование диффузионных процессов позволяет определить перераспределение химических элементов при сварке в околошовной зоне и металле шва, вызывающее изменение механических характеристик сварного шва.

5. Металлургия сварки. Проводится моделирование плавления и за- твердевания металла шва, фазовые превращения в твердом состоянии, прогнозирование свойств различных зон сварного соединения. Позволяет определить характер кристаллизации сварочной ванны, рост и строение кристаллов, механические свойства различных зон сварного соединения. Позволяет подобрать наиболее рациональный режим сварки, ее последовательность, оптимальную температуру подогрева и сварочные материалы.

Математическое моделирование позволяет получить режимы сварки, которые будут гарантированно отвечать всем требованиям по механическим свойствам и структуре металла во всех зонах сварного соединения, сокращает время, затраченное инженером на расчеты, позволяет более точно определять режимы сварки, помогает избежать ошибок при проектировании, позволяет автоматизировать процесс расчетов, снижая труд инженера сварщика. Математическое моделирование незаменимо в тех случаях, когда проведение большого числа экспериментов экономически не целесообразно, либо невозможно. Математическое моделирование позволяет свести к минимуму затрачиваемые на производстве ресурсы, при сохранении качества выпускаемой продукции и тем самым помогает создать более экономичную технологию.

В качестве примера разработана математическая модель процесса диффузионной сварки фторопласта-4 с алюминиевым сплавом АМг6 с наложением ультразвуковых колебаний, алгоритм и программа расчетов параметров режимов сварки, которая учитывает влияние температуры, сварочного давления, интенсивности ультразвуковых колебаний и времени озвучивания на прочность соединения. Проведенные эксперименты показали, что погрешность расчетов не превышает 10 %.

#### Литература

1. Самарский, А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
2. Математическое моделирование сварочных процессов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eta-group.ru/welding/research4>.
3. Зарубин, В. С. Математическое моделирование процессов в непрерывных системах / В. С. Зарубин // ЭТИ «Наука и образование». 2008.

Смирнов М. В.

Научный руководитель: Довыденков В. А., д-р техн. наук  
*Поволжский государственный технологический университет*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ**

*Аннотация.* Рассмотрены и проанализированы существующие способы восстановления деталей, изготовленных из высокопрочных сталей. Даны технологические рекомендации для наплавки.

*Ключевые слова:* сварка, порошковая проволока, сварочные материалы.

Несмотря на высокие эксплуатационные свойства высокопрочных сталей, возникает необходимость восстанавливать детали, изготовленные из данных сталей. Самым распространенным и универсальным способом восстановления является наплавка. Но высокопрочные легированные стали относят к группе ограничено сваривающихся сталей, свариваемость которых обеспечивается при использовании специальных технологических операций [1].

Для высокопрочных сталей характерной особенностью является образование закалочных структур в шве и ЗТВ, создающих опасность хрупкого разрушения [2]. Данное свойство сталей оказывает негативное влияние и на восстановительные работы наплавкой. Поэтому актуальным становится вопрос разработки эффективного способа восстановления деталей, изготовленных из высокопрочных сталей.

Электродуговая наплавка получила наибольшее распространение в ремонте машин среди способов нанесения покрытий.

Существуют ещё несколько способов, такие как: электрошлаковая наплавка, вибродуговая наплавка, плазменная наплавка, электромагнитная наплавка, лазерная наплавка, электроконтактная наплавка.

Все перечисленные способы обладают некими преимуществами, но и имеют ряд недостатков, сдерживающих их широкое применение.

В настоящее время наиболее распространённым способом восстановления является газовая наплавка. Важным недостатком данного способа в отношении высокопрочных сталей является необходимость предварительного подогрева детали и последующей термической обработки.

Авторы работ [3] предлагают усовершенствовать технологии наплавки для снижения вероятности образования трещин. Наплавку рабочего слоя производить в виде слоистой композиции, в которой смежные слои выполняются материалами с различными модулями упругости.

В качестве препятствий на пути развития трещин могут также служить участки наплавленного металла, ориентированные таким образом, чтобы направлению вероятного роста трещины соответствовало направление максимальной сопротивляемости его образованию трещин. С этой целью рабочую поверхность необходимо наплавлять швами непрямолинейной формы.

Авторы [4] предлагают для качественного ремонта крупногабаритных деталей и узлов пользоваться гетерогенным присадочным металлом и специальной техникой наложения швов. В качестве специальной техники наплавки ремонтного шва обычно применяется обратноступенчатый способ при длине ступени до 120-150 мм.

Следует отметить, что в последнее десятилетие все с большим успехом при наплавке используются полуавтоматы с импульсной подачей электродной самозащитой порошковой проволоки [5]. Для реализации усовершенствованной технологии необходимо изготовление дорогостоящей самозащитой проволоки и высокая квалификация персонала, выполняющего наплавочные работы.

Одним из наиболее эффективных средств предотвращения негативных явлений в процессе наплавки в  $\text{CO}_2$  является применение порошковой проволоки. Порошковая проволока обеспечивает мягкое стабильное горение дуги, мелкокапельный перенос и минимальное разбрызгивание электродного металла, отличное формирование шва.

Повысить эффективность плавления порошковой проволоки можно различными способами: управлением током и напряжением, наложением разного рода импульсов на каплю электродного металла, добавлением в шихту редкоземельных элементов, газодинамическим воздействием на процессы в зоне сварки.

Имеется ряд работ [6-8] по газодинамическому воздействию на капельный перенос при сварке в среде защитных газов.

В работах отражены сравнительные экспериментальные исследования по влиянию традиционного (одноструйного) и разработанного двухструйного способа газовой защиты зоны сварки. Применение двухструйной газовой защиты обеспечивает, по сравнению с традиционной, надежную защиту сварочной ванны, измельчение структуры металла

сварного шва, плавный переход от металла шва к основному, повышение механических свойств сварных соединений.

Способ сварки легированных сталей с двухструйной газовой защитой в  $\text{CO}_2$  проволокой сплошного сечения обеспечивает высокие механические свойства сварных соединений без предварительного подогрева и последующей термообработки и является ресурсо- и энергосберегающим [2].

Можно сделать вывод, что наиболее рациональным способом восстановления деталей, изготовленных из высокопрочных сталей является наплавка в  $\text{CO}_2$  с применением порошковой проволоки и двухструйной газовой защиты.

#### Литература

1. Кононенко, В. Я. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом / В. Я. Кононенко. – Киев: ТОВ «Ника-Принт», 2007. – 266 с.
2. Петрова, В. А. Трещиностойкость сварных соединений, методы упрочнения и контроль качества составного инструмента / В. А. Петрова, А. А. Баканов, А. В. Вальтер // V Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии и экономика в машиностроении»: сборник трудов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – С. 380-385.
3. Чигарев, В. В. Повышение работоспособности деталей и инструмента наплавкой гетерогенного слоя / В. В. Чигарев, В. П. Иванов, И. С. Псарева // Захистметалургійних машин від поломок: зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь. – 2003. – С. 234-237.
4. Мозок, В. М. Новые возможности ремонтов деталей тяжелой техники импульсно-дуговой сваркой и наплавкой вне ремзаводов / В. М. Мозок, В. А. Лебедев // Металлообработка. – 2009. – №4. – С. 16-19.
5. Lebedev, V. A., Maksimov, S. Yu. Reduction in power consumption and weld quality control in welding using a controllable pulsed feed of electrode wire / International Congress on Advances in Welding Science and Technology for Construction, Energy and ansportation Systems (AWST-2011). 24–25 October 2011. – Antalya, Turkey. – P. 371–373.
6. Чинахов, Д. А. Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: монография / Д. А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 151 с.
7. Сараев, Ю. Н. Проблемы разработки ресурсосберегающей технологии сварки среднелегированных сталей / Ю. Н. Сараев, Д. А. Чинахов // Современные технологии в машиностроении: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза. – 2000. – Ч. 1. – С. 125-127.
8. Chinakhov, D. A. Study of thermal cycle and cooling rate of steel 30HGSA singlepass weld joints [Electronic resorces] // Applied Mechanics and Materials. – Vols. 52-54. – 2011. – P. 442-447.

Стародубцева О. Н., Алибеков С. Я.  
*Поволжский государственный технологический университет*

## НЕКЛАССИЧЕСКОЕ ЗОЛОТО

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены различные виды золота, процесс их получения, свойства и области применения.

**Ключевые слова:** золото, коллоидное золото, нанопористое золото, пластиковое золото.

Золото с древних времен у человечества считается благородным металлом. Его редкость и мягкость подходило для чеканки монет, а красивый желтый цвет добавлял ценность ювелирным изделиям. Впоследствии золото стало использоваться в стоматологии – коронки и зубные протезы; в фармакологии – входит в состав медикаментов для лечения туберкулёза, ревматоидных артритов и так далее, а радиоактивный изотоп  $^{198}\text{Au}$  используется при лечении злокачественных опухолей в радиотерапии; в промышленности – от пайки металлов и защиты от коррозии до микроэлектроники. Но и в течение веков золото не утратило свою ценность в ювелирном деле и в денежном выражении (золотые запасы различных стран).

Помимо классической структуры металла Au, его сплавах существуют другие виды.

Коллоидное золото – суспензия наночастиц золота в деминерализованной воде. Его можно получить двумя способами:

- восстановление металлического золота, из соответствующих растворимых солей, в контролируемых условиях, позволяющих получать золь с частицами заданного размера;
- распылении соответствующих металлических электродов в зоне электрической дуги.

**Коллоидное золото** хорошо рассеивает свет, нетоксично, химически стабильно и биосовместимо. Оно используется в технике – это производство компьютеров, лазеров, оптоволоконных приборов, сенсоров, различных датчиков и микросхем; в реставрации – для придания «золотого эффекта» на поверхность предмета; в косметологии – средства против старения кожи, под действием активного кислорода [1].

**Нанопористое золото** можно представить, как трехмерную пористую сеть переплетенных нитей или связок. Несколько таких связок

объединяются в узлы. Нанопористое золото было получено традиционным методом химического вытравливания серебра из золотосеребряного сплава в соответствующем растворе. В то время, как простое металлическое золото является образцом инертности, его нанопористая версия обладает ярко выраженной каталитической активностью в реакциях окисления [2].

**Пластиковое золото** было создано швейцарскими учеными. Оно имеет 750 пробу или 18 карат. Новый материал состоит из матрицы полистирола, в которую были интегрированы монокристаллы золота. Процесс создания происходит в воде при температуре 60°C на протяжении 16 часов. После получения кристаллов в воду добавляют полимер, затем – соль для формирования гидрогеля. Воду заменяют на спирт и производят высушивание геля углекислым газом, затем обжигают при 105°C. Полученный материал имеет плотность в 10 раз меньше 18-ти каратного металлического золота – 1,7 г/см<sup>3</sup> против 15 г/см<sup>3</sup>, а модуль Юнга – 50 МПа (в несколько раз больше значения для резины, но примерно в тысячу раз меньше модуля Юнга для золота). Новое золото обладает физическими свойствами пластика, при это при изменении матрицы можно менять свойства. Например, добавив полипропилен, можно имитировать процесс плавления обычного золота, но при более низких температурах.

Пластиковое золото можно использовать для изготовления облегчённых ювелирных изделий. Но также оно подойдёт для химического катализа, радиационной и коррозионной защиты и электроники. [3]



а) б) в) г)

Внешний вид различных видов золота:

а – слиток золота, б – коллоидное золото, в – нанопористое золото, г – пластиковое золото

## Литература

1. Исследование химического синтеза наночастиц золота и сопровождающих его цветовых превращениях / А. В. Пантелеев, Д. Н. Вавулин, А. В. Альфимов и др. // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2012. – № 3(6). – С. 123-133.
2. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2012/raskryt-sekret-kataliticheskoj-aktivnosti-nanoporistogo-zolota>
3. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adfm.201908458>
4. <https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fnpplus1.ru%2Fnews%2F2020%2F01%2F17%2Fpolymergold>

УДК 621.762

Теньков А. Н.

Научный руководитель: Крашенинникова Н. Г.,  
д-т с учен. степ. канд. наук; уч. ст.: канд. физ.-мат. наук.  
*Поволжский государственный технологический университет*

### **КОМПАКТИРОВАНИЕ НАНОПОРОШКОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

***Аннотация.** Рассмотрены особенности и основные проблемы получения компактных наноструктурированных материалов из нанопорошков и возможные пути их решения.*

***Ключевые слова:** наноструктура, нанопорошок, методы компактирования, изостатическое прессование, ультразвуковое прессование, динамические методы прессования.*

В последние десятилетия резко возрос интерес к наноматериалам – материалам, содержащим структурные элементы, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающим в связи с этим уникальными свойствами

Одним из основных способов получения таких материалов является использование технологии порошковой металлургии: компактирование нанопорошков с последующим спеканием заготовок.

Однако получение компактных заготовок из нанопорошков представляет собой серьезную проблему. Наноразмерные порошки имеют громадную удельную поверхность и, как следствие, большую избыточную поверхностную энергию, поэтому отличаются высоким содержанием адсорбированных газов, склонностью к агломерированию, плохой

уплотняемостью. В связи с этим традиционные методы прессования в металлических пресс-формах при одноосном приложении нагрузки не обеспечивают высокой плотности прессовок и равномерного ее распределения, а большие упругие последствия и высокие внутренние напряжения часто приводят к образованию трещин в спрессованных заготовках.

В связи с этим проблема разработки технологии компактирования нанопорошков является очень актуальной.

Одним из перспективных методов формования нанопорошков представляется изостатическое прессование – прессование в деформируемых оболочках в условиях всестороннего сжатия. В качестве среды, передающей давление, может использоваться газ или жидкость. При прессовании в металлических пресс-формах в связи с огромной удельной поверхностью нанопорошков значительная доля прикладываемого усилия прессования теряется на преодоление сил трения. При изостатическом прессовании за счет всестороннего сжатия внешнее трение отсутствует, поэтому при тех же давлениях плотность спрессованных заготовок оказывается существенно выше, чем при прессовании в металлических формах [1]. Недостатком метода является малая размерная точность получаемых изделий.

Перспективными для получения прессовок высокой плотности являются также методы динамического прессования: уплотнение порошка ударными волнами. В частности, ряд исследований показал эффективность использования метода магнитно-импульсного прессования [2].

Сотрудники Томского политехнического университета активно разрабатывают метод ультразвукового прессования нанопорошков [3]. Применение ультразвука в процессе прессования приводит к уменьшению межчастичного трения и трения о стенки пресс-формы, разрушению агломератов и крупных частиц.

Сотрудниками того же университета был разработан еще один вариант прессования – прессование в коллекторных пресс-формах. Боковые формообразующие части формы имеют возможность двигаться в разных направлениях. Компенсация негативного влияния сил трения о стенки формообразующего инструмента помогает добиться равномерно распределенной плотности и уменьшает напряжения в объеме порошка.

Таким образом, предлагаются разные варианты решения проблемы, однако она по-прежнему сохраняет свою актуальность.

## Литература

1. Алымов, М. И. Консолидированные порошковые наноматериалы / М. И. Алымов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/37207886-Konsolidirovannye-poroshkovye-nanomaterialy-m-i-alymov-imet-ran-niyau-mifi.html>.
2. Эффективность динамического метода уплотнения наноразмерных порошков / В. В. Иванов, С. Н. Паранин, А. Н. Вихрев и др. // *Материаловедение*. – 1997. – №5. – С. 49-55.
3. Ультразвуковая технология изготовления конструкционной и функциональной нанокерамики / О. Л. Хасанов, В. М. Соколов, Э. С. Двилис и др. // *Перспективные материалы*. – 2002. – №1. – С. 76-83.
4. Хасанов, О. Л. Метод коллекторного компактирования нано- и полидисперсных порошков: учебное пособие / О. Л. Хасанов, Э. С. Двилис, А. А. Качаев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 102 с.

УДК 629.021

Шкуров Н. В.

*Поволжский государственный технологический университет*

### **РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ТРАНСМИССИИ ПОЛНОПРИВОДНОГО МОТОЦИКЛА**

*Аннотация.* Исследование приводных узлов мотовездехода и разработка новых направлений их модернизации.

*Ключевые слова:* мотовездеход, полный привод, трансмиссия мотоцикла.

В результате исследования конструктивных особенностей основных узлов известных мотовездеходов и анализа их недостатков была предложена к разработке новая компоновочная схема полноприводного мотоцикла, обладающая существенными отличительными признаками и преимуществами перед аналогами, что подтверждает перспективность и конкурентоспособность данной конструкции. В результате были подготовлены материалы заявки на изобретения для подачи в Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС). Известные, наиболее близкие аналоги проектируемого полноприводного мотоцикла [1] и [2], обладают одним общим недостатком – сложностью конструкции трансмиссии приводов.

Сущность предлагаемого к разработке технического решения заключается в следующем.

Мотоцикл содержит боковую коляску с приводом колеса через трансмиссию от двигателя мотоцикла, отличающегося тем, что привод переднего колеса мотоцикла выполнен в виде трансмиссии отбора крутящего момента от трансмиссии привода колеса боковой коляски через дополнительную цепную передачу.

Сущность конструкции разрабатываемого полноприводного мотоцикла поясняется рисунком, где изображена схема полноприводного мотоцикла.

Полноприводной мотоцикл 1 содержит двигатель 2 с цепной передачей 3 на заднее колесо 4 мотоцикла. Мотоцикл содержит боковую коляску 5 с колесом 6, привод которого выполнен через трансмиссию 7 от двигателя 2. Привод переднего колеса 8 мотоцикла 1 выполнен в виде трансмиссии 9 отбора крутящего момента от трансмиссии 7 привода колеса 6 боковой коляски 5 через дополнительную цепную передачу 10.

Полноприводной мотоцикл работает следующим образом.

В процессе работы двигателя 2 мотоцикла 1 заднее колесо 4 приводится во вращение посредством цепной передачи 3, колесо 6 боковой коляски 5 приводится во вращение от двигателя 2 через трансмиссию 7, а переднее колесо 8 мотоцикла приводится во вращение через трансмиссию 9 привода колеса 6 через дополнительную цепную передачу 10.

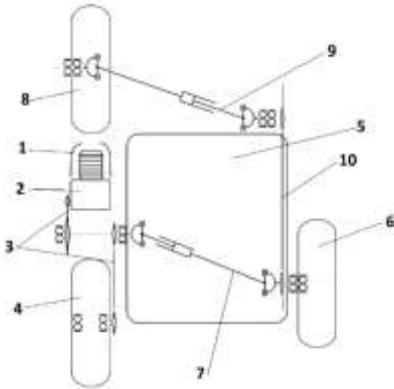


Схема полноприводного мотоцикла

В полноприводном мотоцикле с боковой коляской осуществляется привод всех колес трансмиссией относительно простой конструкции.

Полноприводной мотоцикл имеет три приводных колеса. Стоит задача оптимально распределить мощность между задним колесом, передним колесом и колесом боковой коляски.

Исходя из существующего опыта разработчиков полноприводных мотоциклов, рекомендаций и результатов испы-

таний подобной техники другими разработчиками, это распределение мощности должно быть равным.

Мощность выбранного двигателя составляет  $N=5,9\text{кВт}$  при номинальной частоте вращения входного вала  $n_{\text{ном}} = 7500$  об/мин.

Расчет выходного крутящего момента

$$N = \frac{M * n}{9,55},$$
$$M = \frac{9,55 * N}{n} = \frac{9,55 * 5900}{7500} = 7,5 H * m,$$
$$M_{\text{вых дв}} = 7,5.$$

Передаточные числа трансмиссии двигатель – КПП – главная цепная передача

I передача –  $i_I = 7,686$ ,

II передача –  $i_{II} = 6,35$ ,

III передача –  $i_{III} = 5,834$ ,

IV передача –  $i_{IV} = 5,456$ .

Коэффициент полезного действия трансмиссии в целом двигатель – КПП – главная цепная передача принимаем  $\eta = 0,86$ , учитывая условия эксплуатации, снижающее КПД (пыль, песок, грязь, низкие температуры).

Тогда на колесе значения крутящего момента составят:

$$M_{\text{кол}} = M_{\text{вых дв}} * i * \eta,$$

$$\text{I передача} - M_{\text{кол I}} = 7,5 * 7,686 * 0,86 = 49,5 H^*_{M},$$

$$\text{II передача} - M_{\text{кол II}} = 7,5 * 6,35 * 0,86 = 40,9 H^*_{M},$$

$$\text{III передача} - M_{\text{кол III}} = 7,5 * 5,834 * 0,86 = 37,6 H^*_{M},$$

$$\text{IV передача} - M_{\text{кол IV}} = 7,5 * 5,456 * 0,86 = 35,1 H^*_{M}.$$

В прочностных расчетах трансмиссии будем использовать максимальный момент на колесе  $M_{\text{max кол}} = 49,5 H^*_{M}$  на первой передаче КПП.

Вывод

При разработке технического проекта полноприводного мотоцикла в расчетной части должны быть подтверждены прочностные показатели, исходя из полученного значения максимального крутящего момента на колесах.

$$M_{\text{max кол}} = 49,5 H^*_{M}.$$

#### Литература

1. Шваб, П. и др. Передаточное устройство мотоцикла. А.С. 1063691. Бюл. №48, 1983.
2. Саберова, Л. Н. Полноприводной мотоцикл. Пат. RU 2648647. Бюл. №9, 2017.

## СПИСОК АВТОРОВ

- Абрамов Р. В., *I*, 183  
Александрова Н. В., *I*, 144  
Алексеев Н. Э., *I*, 146  
Алибеков С. Я., *I*, 196, 204  
Андреев Д. А., *I*, 5  
Андрианов Д. Ю., *I*, 88  
Артемяева А. А., *I*, 138
- Бабина Д. В., *I*, 8  
Багаева Е. А., *I*, 67  
Бакулина И. Р., *I*, 133  
Блинова А. В., *I*, 11  
Будкина И. М., *I*, 14  
Булдакова Ю. М., *I*, 91  
Быкова В. М., *I*, 138
- Васильева Е. С., *I*, 148  
Виногорова В. А., *I*, 70  
Волков В. М., *I*, 127  
Волкова А. Н., *I*, 150  
Волкова Ю. А., *I*, 17  
Воробьева Е. Г., *I*, 19, 94  
Воронина И. Д., *I*, 185
- Галкина А. С., *I*, 150  
Губин Н. А., *I*, 72
- Девятова Д. А., *I*, 75  
Демакова В. В., *I*, 67  
Денисова О. Н., *I*, 152, 170  
Дерягина М. С., *I*, 152  
Джалилов А. Т., *I*, 180  
Домрачева С. С., *I*, 130  
Дубина К. Н., *I*, 174
- Егоров П. А., *I*, 138  
Ефимов К. В., *I*, 155
- Журавлев Е. А., *I*, 31, 34, 61,
- Журавлева И. В., *I*, 57
- Зайцев А. П., *I*, 97  
Зиновьева Е. Г., *I*, 146  
Зыкова А. А., *I*, 112
- Иванов С. П., *I*, 112, 114, 120, 123  
Иванова А. С., *I*, 114
- Казакова Д. К., *I*, 177  
Калинина А. А., *I*, 157  
Капитонова М. А., *I*, 144  
Капустин А. В., *I*, 97  
Козицын И. И., *I*, 22  
Колесникова А. С., *I*, 25  
Коннова К. А., *I*, 160  
Кораблев А. М., *I*, 14  
Кудрявцев С. Г., *I*, 91  
Кулагина С. В., *I*, 8  
Куликов Ю. А., *I*, 100  
Курбатов Д. А., *I*, 27
- Лабазова М. М., *I*, 31  
Лаврентьев О. А., *I*, 155  
Лагерев И. А., *I*, 109  
Лаптев С. Н., *I*, 187  
Лачкова И. С., *I*, 84  
Лежнин Р. А., *I*, 196  
Леонтьев Д. Р., *I*, 81  
Лучников И. П., *I*, 81
- Макаров К. И., *I*, 78  
Медведкова Е. А., *I*, 34  
Меньших Н. А., *I*, 88  
Меркушева Н. Н., *I*, 163  
Микакова Д. Е., *I*, 114
- Насакин О. Е., *I*, 138  
Николаева А. С., *I*, 165

Пантелеев П. Г., *I*, 70  
Пантелеева В. С., *I*, 37, 94  
Патерюхин И. С., *I*, 189, 196  
Пименов Г. А., *I*, 40  
Плотников В. В., *I*, 146

Родникова А. В., *I*, 117  
Речкина А. Е., *I*, 43  
Решетова Е. В., *I*, 84

Сабанцева А. А., *I*, 152  
Садовина Е. А., *I*, 46, 100  
Сазанова А. А., *I*, 138  
Салихова Л. М., *I*, 11, 22, 27, 43,  
Сараев Д. Е., *I*, 191  
Сафаров С. В., *I*, 49  
Семенова Е. А., *I*, 70, 81  
Сергеев В. Ю., *I*, 193  
Силиваева А. А., *I*, 78  
Сластихина С. В., *I*, 196  
Смирнов А. Н., *I*, 51  
Смирнов М. В., *I*, 198, 201  
Смирнова Ю. В., *I*, 67  
Содикова М. Р., *I*, 141, 180  
Солоницын А. А., *I*, 120  
Соснин А. В., *I*, 133  
Старгородцева Д. С., *I*, 8, 136  
Стародубцева О. Н., *I*, 204

Таджиходжаев З. А., *I*, 180  
Тарасов И. С., *I*, 146  
Таричко В. И., *I*, 103, 106  
Теньков А. Н., *I*, 206  
Терентьев Н. А., *I*, 54  
Тетерина М. С., *I*, 84

Урванцев Д. Н., *I*, 57

Хакимова И. И., *I*, 146  
Химич А. В., *I*, 109  
Холодов М. Н., *I*, 60

Царева Л. Ю., *I*, 167  
Царегородцев В. В., *I*, 27

Чернышова О. И., *I*, 123

Шалагина Ю. Д., *I*, 34  
Шалфеева Э. Н., *I*, 138  
Шегеда В. А., *I*, 170  
Шестаков А. Д., *I*, 61  
Шкуров Н. В., *I*, 208

Щекотова М. И., *I*, 130  
Щербаков Р. В., *I*, 72

Ялдайкина Ю. А., *I*, 78  
Яранцева Е. А., *I*, 64