

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Молодежная секция

Сборник докладов

15–19 апреля 2019 г.



УДК 001(042.3)
ББК 72я43

М74

М74 Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем (Молодежная секция): сб. докл. СПб.: ГУАП, 2019. 242 с.: ил.

ISBN 978-5-8088-1358-8

Доклады отражают весь спектр направлений научных работ, проводимых Институтом инноватики и базовой магистерской подготовки ГУАП.

Оргкомитет конференции

- Ю. А. Антохина* – доктор экономических наук, профессор, ректор ГУАП
- А. А. Оводенко* – доктор технических наук, профессор, президент ГУАП
- Е. Г. Семенова* – доктор технических наук, профессор, директор Института фундаментальной подготовки и технологических инноваций
- А. О. Смирнов* – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой высшей математики и механики
- В. Г. Фарафонов* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики
- И. И. Коваленко* – кандидат физико-математических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой физики
- В. В. Окрепилов* – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой метрологического обеспечения инновационных технологий

ISBN 978-5-8088-1358-8

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2019

УДК 51-76

В. Е. Крылова, О. А. Константинова, Ю. А. Алдохина

студенты кафедры высшей математики и механики

О. Е. Дик

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ВХОДНЫМ ДАННЫМ

Стремительное развитие средств вычислительной техники, программного обеспечения расширяют возможности применения математической модели как на всех этапах автоматизированного проектирования, так и на этапах управления. Независимо от способа построения модели важным звеном ее структурной и параметрической идентификации остается обработка экспериментально-статистической информации, получаемой либо в лабораторных условиях, либо при натуральных испытаниях, либо с функционирующего объекта.

Экспериментальные данные. Исследование направлено на формирование понимания механизмов электровозбудимости мембран, характеризующихся ионными каналами. Оно базируется на модели Ходжкина – Хаксли – математической модели, описывающей генерацию и распространение потенциалов действия в нейронах. Была разработана Аланом Ллойдом Ходжкином и Эндрю Хаксли в 1952 г. для описания электрических механизмов, которые обуславливают генерацию и передачу нервного сигнала в гигантском аксоне кальмара. За это авторы модели получили Нобелевскую премию в области физиологии и медицины за 1963 г.

Данная модель в рамках исследования рассматривает активацию и инактивацию каналов как полностью независимые друг от друга процессы, и описывает их функция [1]

$$\tau_x(E) = \frac{1}{(\alpha_x(E) + \beta_x(E))}, \quad x = s,$$

$$x_\infty(E) = \frac{\alpha_x(E)}{(\alpha_x(E) + \beta_x(E))}.$$

На одном из этапов необходимо найти параметры $\alpha_s(E)$, $\beta_s(E)$, $\alpha_r(E)$, $\beta_r(E)$ данных функций. Для обеспечения наилучшего соответствия экспериментально полученному семейству натриевых токов используется многопараметрический метод наименьших квадратов для подбора параметров функции для приближенного описания. Также при расчетах используются методы аппроксимации и подгонки. Сначала многопараметрическим методом наименьших квадратов методом на основании формул [1, 2]

$$\begin{aligned} G(E,t) &= g_{\max} s^3(E,t) \cdot r(E,t), \\ s(E,t) &= s_\infty(E) \cdot (1 - \exp(-t / \tau_s(E))), \\ r(E,t) &= r_\infty(E) + (1 - r_\infty(E)) \exp(-t / \tau_r(E)), \end{aligned}$$

где $G(E,t) = \frac{I_{Nas}(E,t)}{(E - E_{Na})}$, находятся зависимости $s(E)$, $r(E)$, $\tau_s(E)$, $\tau_r(E)$.

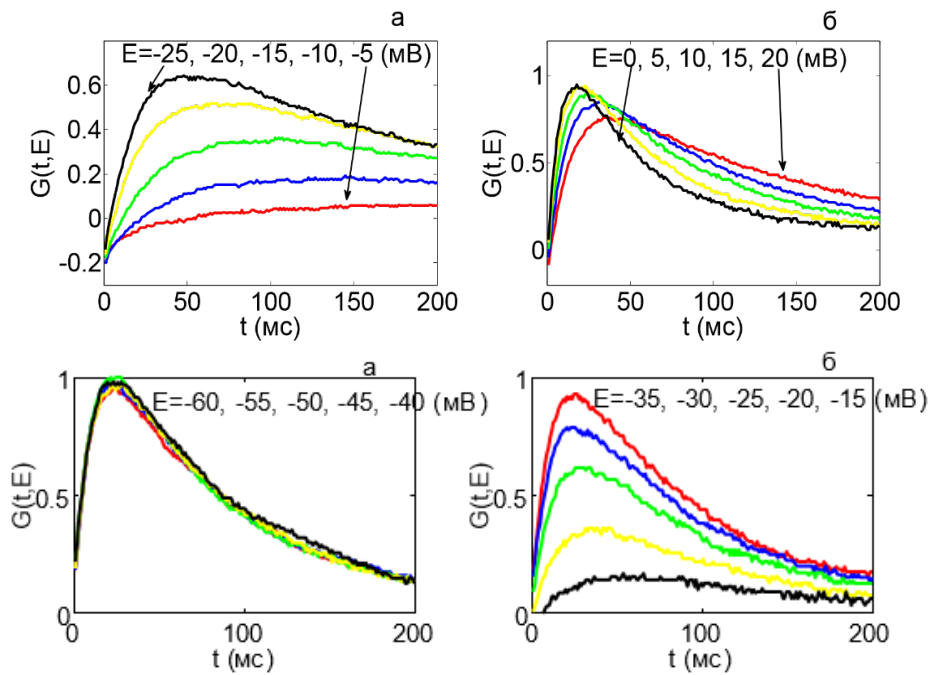


Рис. 1. Экспериментальные зависимости $G(t, E)$ для процесса активации и инактивации натриевого канала

Процесс аппроксимации кривых тока [3]. Экспериментально мы имеем K таких зависимостей (токов), полученных при разных значениях потенциала E , и для каждого значения E осуществляется аппроксимация. Для программы, разработанной в среде Wolfram Mathematica, аппроксимация осуществляется при значении потенциала $E = 5$:

manip_E5_GUAP.nb

```

MT[tm_,t_,minf_]:= (1-e^-t/tm)^3*minf^3;
HT[th_,t_,hinf_]:= hinf+(1-hinf)*e^-t/th;
GT[tm_,t_,minf_,th_,hinf_,gmax_]:= gmax*MT[tm,t,minf]*HT[th,t,hinf];
30 Manipulate[
  mom[tm,minf,th,hinf,gmax],
  {{tm,6,"tm_0"},1,8,0.01,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},
  {{minf,0.95,"minf_0"},0.3,1,0.001,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},
  {{th,88,"th_0"},30.,100,0.1,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},
  {{hinf,0.15,"hinf_0"},0.01,0.3,0.001,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},
  {{gmax,1.32,"gmax_0"},0.8,1.4,0.001,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},

```

Рис. 2. Отрывок листинга программы manip_E5_GUAP.nb, содержащий основные формулы для вычислений

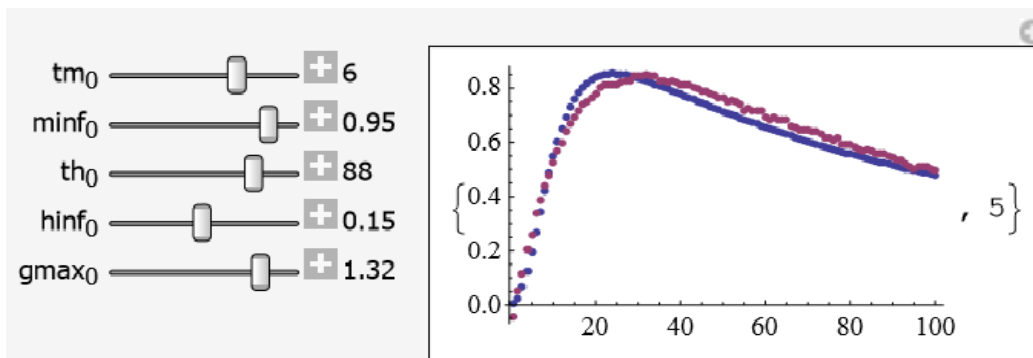


Рис. 3. Результат выполнения программы manip_E5_GUAP.nb

Таким образом, при одном значении потенциала были найдены четыре параметра, описывающих одновременно активацию и инактивацию натриевого канала. Это повторяется экспериментально для всех кривых.

Нахождение параметров. Далее определяются значения параметров $a_i, b_i, i = 1, \dots, 2$, при которых получается наилучшая аппроксимация функций, соответствующая процессам активации:

$$\tau_s(E) = \frac{1}{(ea_1E + b_1 + ea_2E + b_2)},$$

$$s_\infty(E) = \frac{ea_1E + b_1}{(ea_1E + b_1 + ea_2E + b_2)}.$$

Осуществляются данные расчеты при помощи метода подгонки.

manip_hfit_GUAP.nb

```
h={0.03,0.037,0.041,0.055,0.077,0.15,0.24,0.33,0.5,0.62,0.7};
th={40.8,56.6,63.,75.5,95,112.4,133,166,202,211,209};
taufit[a1_,b1_,a2_,b2_,EE_]:=1./(ea1*EE+b1+ea2*EE+b2);
mfit[a1_,b1_,a2_,b2_,EE_]:=ea1*EE+b1/(ea1*EE+b1+ea2*EE+b2);
Manipulate[
mom[a1,b1,a2,b2],
{{a1,0.043,"a1_0"},0.01,0.06,0.001,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},
{{b1,-2.22,"b1_0"},-3.0,-1.0,0.001,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},
{{a2,-0.048,"a2_0"},-0.1,-0.01,0.001,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},
{{b2,-4.33,"b2_0"},-5.7,-3.0,0.001,Appearance->"Labeled",ImageSize->Tiny},
```

Рис. 4. Отрывок листинга программы manip_hfit_GUAP.nb, содержащий основные формулы для вычислений

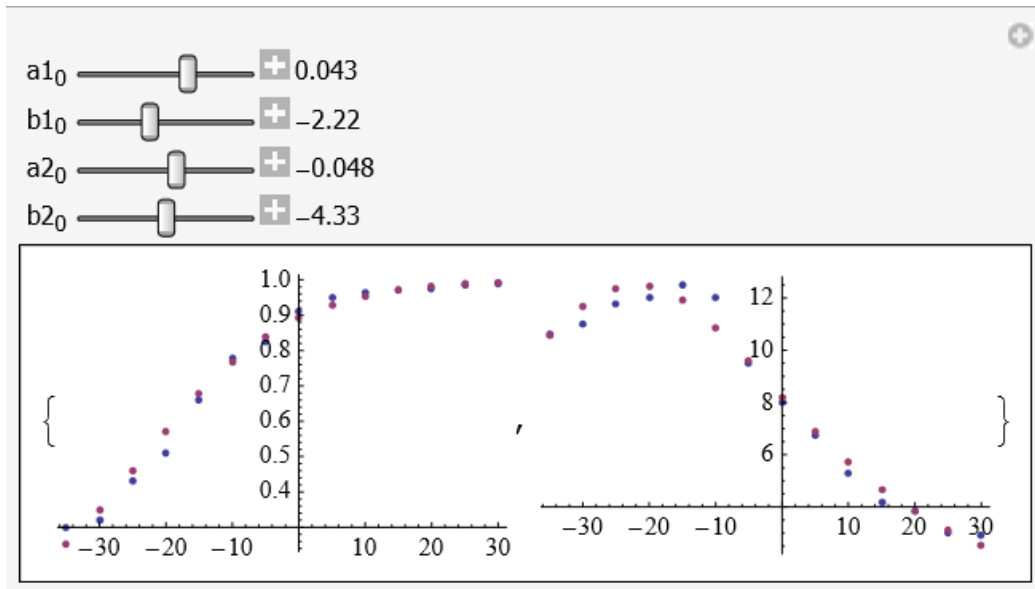


Рис. 5. Результат выполнения программы manip_hfit_GUAP.nb

Затем определяются значения параметров $a_i, b_i, i = 3, \dots, 4$, при которых получается наилучшая аппроксимация функций, соответствующая процессам инактивации:

$$\tau_r(E) = \frac{1}{(ea_3E + b_3 + ea_4E + b_4)},$$

$$r_\infty(E) = \frac{ea_3E + b_3}{(ea_3E + b_3 + ea_4E + b_4)}.$$

manip_hfit_GUAP.nb

```
h={0.03,0.037,0.041,0.055,0.077,0.15,0.24,0.33,0.5,0.62,0.7};
th={40.8,56.6,63.,75.5,95,112.4,133,166,202,211,209};
```

Рис. 6. Отрывок листинга программы manip_hfit_GUAP.nb

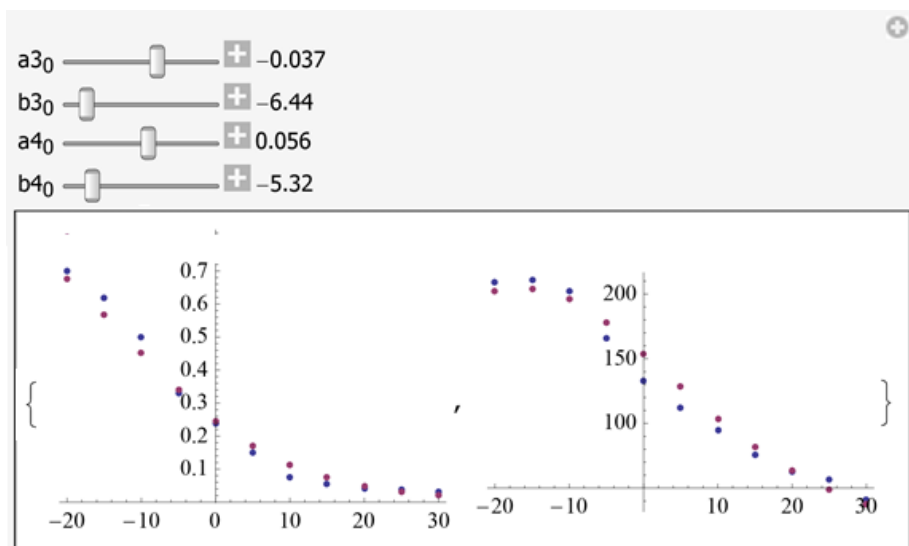


Рис. 7. Результат выполнения программы manip_hfit_GUAP.nb

Библиографический список

1. Рубин, А. Б. Биофизика: учеб. для биологических спец. вузов. Теоретическая биофизика / А. Б. Рубин. В 2 т. Т. 1. 2-е изд., испр. и доп. М.: Университет, 1999. 448 с.
2. Izhikevich, E. M. Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting. London, Cambridge: MIT Press, 2007.
3. Зефирова, А. Л. Ионные каналы возбудимой клетки (структура, функция, патология) / А. Л. Зефирова, Г. Ф. Ситдикова. Казань: Арт-кафе, 2010. 271 с.

УДК 51-76

Я. Ю. Шуманова

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

А. М. Балонишников

доктор технических наук, доцент – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ НЕБОЛЬШИХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

В физике есть уравнения, описывающие абсолютно все: от растяжения пространства-времени до точной траектории полета фотона. Однако всего лишь один набор уравнений считается настолько математически сложным, что его включили в список одной из семи задач тысячелетия, за решение которых Математический институт Клэя предлагает премию в миллион долларов: это уравнения Навье – Стокса, описывающие течение жидкостей.

Гидродинамика макроскопически описывается уравнением Навье – Стокса. Оно показывает, каким будет давление, плотность и скорость жидкости в каждой точке пространства в каждый момент времени в зависимости от начальных и граничных условий и параметров среды.

Закон сохранения массы (называемый также уравнением неразрывности) для сплошной среды:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \Delta(\rho \bar{v}) = 0.$$

Данное выражение свидетельствует о крайне слабой сжимаемости жидкости и практически постоянном значении плотности, что с высокой точностью позволяет применять закон сохранения массы в виде условия несжимаемости:

$$v\bar{v} = 0,$$

которое с не менее хорошей точностью работает и для газов, пока скорость течения мала по сравнению со звуковой. Его физический смысл – сохранение массы для потока жидкости. Уравнение Навье – Стокса (также называемое уравнением движения):

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + (\bar{v} \nabla) \bar{v} \right) = -\nabla P + \eta \nabla^2 \bar{v}.$$

Главной проблемой гидродинамики является отсутствие точных решений ее уравнений. Как бы с этим ни боролись, но получить действительно всеобщих результатов не удается до сих пор.

Движение жидкости по своей природе бывает двух видов:

1) ламинарное – т.е. слоистое, позади тела в жидкости или газе не возникает вихрей. Если тело обтекается ламинарно, то сила сопротивления зависит от скорости и вязкости среды;

2) турбулентное – позади тела возникают завихрения (вихревая дорожка Кармана).

Второй тип течения представляет собой более сложную для моделирования модель. Ограничимся на данном этапе изучением ламинарного течения, т.е. упорядоченного течения жидкости или газа (рис. 1).

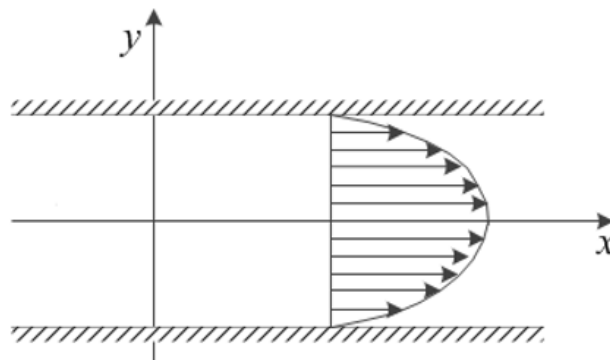


Рис. 1. Параболический профиль скоростей при ламинарном течении жидкости в круглой трубе

Устойчивое ламинарное течение может происходить при условиях, которые зависят от значения числа Рейнольдса, а именно при любом $Re < Re_{кр}$. Если же $Re (\approx 2000$ для движения в трубе) превышает критическое значение, то получаем неустойчивое течение, в котором присутствуют возмущения (неупорядоченное турбулентное течение).

При моделировании гидродинамики без учета изменений температуры любая система с наперед заданной геометрией полностью описывается только одним безразмерным параметром – числом Рейнольдса, равным

$$Re = \frac{vL}{\mu},$$

где v – характеристическая скорость в системе (например, скорость в центре трубы), L – характеристическая длина в системе (например, длина стороны квадрата сечения), μ – вязкость среды.

Методы решеточных уравнений Больцмана (*Lattice Boltzmann Methods, LBM*) – класс методов вычислительной гидродинамики для моделирования жидкостей. В отличие от многих других методов, метод LBM не решает уравнения Навье – Стокса, а моделирует поток ньютоновской жидкости дискретным кинетическим уравнением Больцмана.

В отличие от традиционных методов CFD (вычислительной гидродинамики), с помощью которых решают численно уравнения сохранения макроскопических свойств (то есть массы, импульса и энергии), LBM моделирует жидкость, состоящую из фиктивных частиц, и такие частицы выполняют последовательные процессы распространения и столкновения по дискретной сетке решетки.

Макроскопически любое течение любой жидкости или газа моделируется уравнением Навье – Стокса. С другой стороны, справедливо уравнение Больцмана, которое описывает, как меняется плотность распределения частиц по скоростям в каждой точке пространства со временем. Несмотря на то что для плотных жидкостей уравнение Больцмана неприменимо, если мы научимся его моделировать, то сможем моделировать и уравнение Навье – Стокса для этих жидкостей.

Если проинтегрировать распределение частиц по скоростям в данной точке, можно получить плотность и макроскопическую скорость в данной точке. Другими словами, макроскопически уравнение Больцмана эквивалентно уравнению Навье – Стокса.

Вкратце: жидкость разбивается на узлы (на решетку), и в каждом узле считается скорость, результатом является массив, где координаты x и y отвечают за номер узла, а значение элемента массива – это значение скорости в данном узле.

На самом деле численные методы решения системы уравнений в частных производных порождают дискретное отображение, которое можно интерпретировать как распространение и столкновение фиктивных частиц:

распространение – потоковая передача (*Streamingstep*):

$$f_i(r + v_i t + 1) - f_i(r, t) = -\frac{f_i - f_i^{eq}}{\tau};$$

столкновение (*Collisionstep*): $f_i(r, t) = \tilde{f}_i(r, t) - \frac{f_i - f_i^{eq}}{\tau}$,

где f_i^{eq} – равновесная функция распределения, распределение Максвелла – Больцмана, а τ – время релаксации (по умолчанию равно 1), v_i – макроскопическая скорость в направлении i , f_i – массовая плотность частиц, которые движутся от одного узла к другому в направлении i , r – вектор направления, t – шаг.

На рис. 2 изображена одна итерация пары streaming/collision. Цветные стрелки изображают потоки летящих молекул. Интенсивность цвета кодирует массу молекул, летящих в данном потоке, длина стрелок примерно соответствует пути, проходимому потоком за шаг по времени (лишь примерно, поскольку стрелки должны идти от центра узла до центра узла).

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

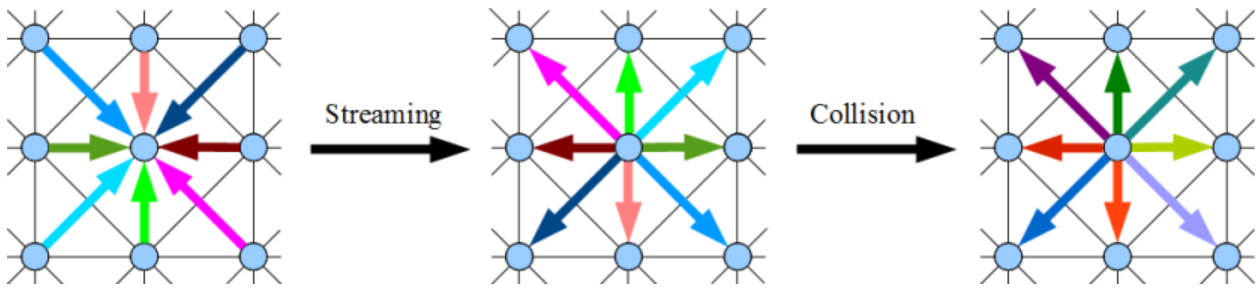


Рис. 2. Итерация пары streaming/collision

В непрерывном случае равновесная функция распределения (распределение Максвелла – Больцмана), т. е. формула функции локального равновесия имеет вид

$$f^{eq} = \frac{\rho}{(2\pi RT)^{\frac{D}{2}}} e^{-\frac{(\bar{e}-\bar{u})^2}{2RT}} = \frac{\rho}{(2\pi RT)^{\frac{D}{2}}} e^{-\frac{(\bar{e}-\bar{u})^2}{2RT}} \left(1 + \frac{\bar{e}\bar{u}}{RT} + \frac{(\bar{e}\bar{u})^2}{RT} - \frac{\bar{u}^2}{2RT} + \dots\right)$$

Поскольку компьютер не умеет работать с непрерывными величинами, для программирования данного метода нам необходимо дискретизировать данное уравнение. Метод решеточного уравнения Больцмана дискретизирует это уравнение, ограничивая пространство решеткой. На рис. 3 изображен пример дискретного набора микроскопических скоростей и базисные векторы для D2Q9. Величина скоростей (e_0, \dots, e_8) равна одному шагу решетки за один шаг по времени. Такой выбор скоростей удобен и обуславливается тем, что значения имеют значения 0 или ± 1 .

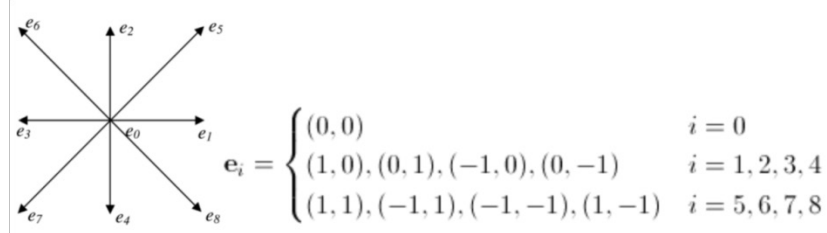


Рис. 3. Дискретный набор скоростей и соответствующие базисные векторы

Разложив данное уравнение в ряд Тейлора до второго порядка, получим:

$$f^{eq} = \omega_i \rho \left(1 + 3e_i u + \frac{9}{2}(e_i u)^2 - \frac{3}{2}u^2\right),$$

где ω_i – специально подобранные множители (рис. 4).

$$w_i = \begin{cases} 4/9 & i = 0 \\ 1/9 & i = 1, 2, 3, 4 \\ 1/36 & i = 5, 6, 7, 8 \end{cases}$$

Рис. 4. Значения коэффициентов ω_i для D2Q9

Также уравнение Навье – Стокса восстанавливается из дискретного уравнения Больцмана в предположении, что изменение плотности мало:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}_x}{\partial t} + \nabla_y \bar{u}_x \bar{u}_y \right) = -\nabla_x \rho + \nu \nabla_y \left(\nabla_x (\rho \bar{u}_y) + \nabla_y (\rho \bar{u}_x) \right).$$

Одним из немногих частных случаев, когда уравнения Навье – Стокса допускают аналитическое решение, является установившееся течение жидкости в канале, известное как течение Пуазейля. В этом случае скорость жидкости на стенках канала (или трубы) равна нулю и достигает максимума на середине канала. Результат оказывается один – профиль скорости является параболическим:

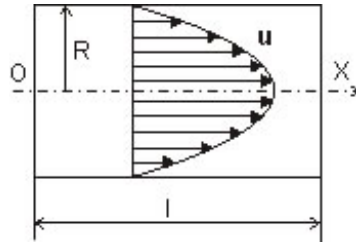


Рис. 5. Течение Пуазейля

Течение Пуазейля интересно в первую очередь тем, что позволяет сравнить результаты моделирования LBM с точным решением уравнения Навье – Стокса.

Результаты моделирования в среде программирования MatLab: поле скоростей течения показано на рис. 6 (хорошо заметен параболический профиль течения). На рис. 7 приведены результаты сравнительных расчетов с использованием LBM и формулы (2), показывающие хорошее соответствие численного решения аналитическому. На рис. 8 показаны значения относительной погрешности LBM-расчета в сравнении с аналитическим решением.

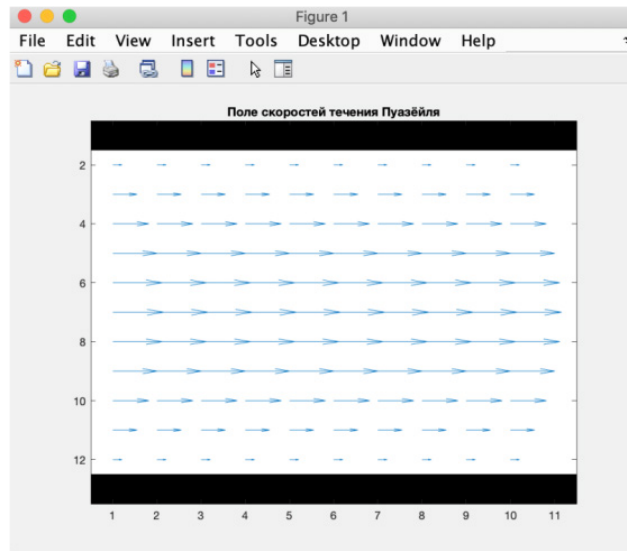


Рис. 6. Поле скоростей течения Пуазейля

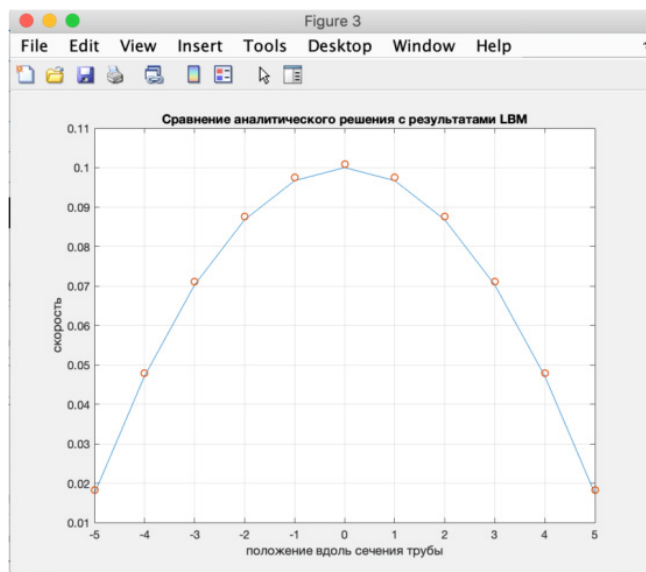


Рис. 7. Результаты сравнительных расчетов профиля скоростей с помощью LBM (маркеры-кружки) и аналитического решения уравнения Навье – Стокса

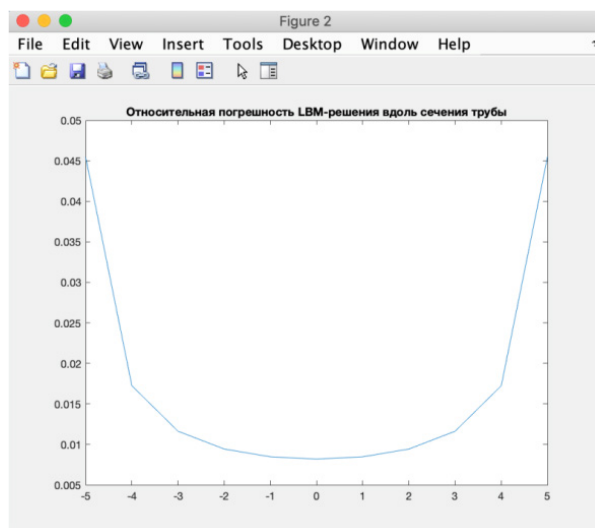


Рис. 8. Значения относительной погрешности LBM-расчета в сравнении с аналитическим решением уравнения Навье – Стокса

Таким образом, можно сказать, что метод решеточных уравнений Больцмана несмотря на свою относительную новизну успешен и может использоваться в различных отраслях. Его вычислительный алгоритм достаточно прост и подлежит модификациям в зависимости от поставленных задач. В дальнейшем планируется изучение других методов вычислительной гидродинамики, позволяющих моделировать турбулентное движение жидкости и газа.

Библиографический список

1. Кратко о гидродинамике: уравнения движения. URL: <https://habr.com/ru/post/171327/> (дата обращения: 11.04.2019).
2. Моделирование гидродинамики: Lattice Boltzmann Method. URL: <https://habr.com/ru/post/190552/> (дата обращения: 11.04.2019).
3. LatticeBoltzmannmethods. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Lattice_Boltzmann_methods#Software (дата обращения: 11.04.2019).
4. Чижумов, С. Д. Основы гидродинамики / С. Д. Чижумов. Комсомольск-на-Амуре, 2007.
5. Ван-Дайк, М. Альбом течений жидкости и газа / М. Ван-Дайк. М.: Мир, 1986. 184 с.
6. Элементарный учебник физики / Под. ред. Г. С. Ландсберга. В 3-х т. Т. 1. М.: Физматлит, 2004. 608 с.
7. He, X. Lattice Boltzmann Model for the Incompressible Navier – Stokes Equation / X. He, L. S. Luo // Journal of Statistical Physics. 1997. Vol. 88. No 3/4. P. 927–944.

УДК 658.5

П. С. Зайцев

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

С. А. Назаревич

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ НА ПРОИЗВОДСТВАХ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ПРИМЕРЕ 3DSP1

В современной конкурентной среде каждый представитель производства электроники должен следовать новейшим тенденциям организации производства. Использование на предприятии технологических инноваций позволяет получить значимые конкурентные преимущества: сократить расходы и время на производство, увеличить качество электронных сборок и т.д.

В данной статье будут рассмотрены способы обеспечения требуемого качества нанесения паяльной пасты с помощью технологий автоматической оптической инспекции (АОИ), установленной после этапа нанесения паяльной пасты.

Анализ технологии 2D-инспекции

2D-инспекция – традиционный вид АОИ, который применяется на всех предприятиях. Зачастую 2D АОИ встраивается непосредственно в принтер трафаретной печати.

Дефекты, обнаруживаемые двухмерной инспекцией [1]:

- шарики припоя;
- перемычки;
- попадание пасты за пределы контактных площадок;
- отсутствие или недостаточное количество паяльной пасты на контактных площадках;
- смазанные края отпечатков паяльной пасты;
- припойный бисер.

Данный вид инспекции может осуществляться следующими способами:

1) печатная плата проходит по конвейеру с заданной скоростью, сверху ее просматривает неподвижная камера. Основным преимуществом описываемого способа является быстрота инспекции;

2) печатная плата помещается в установку АОИ, камера передвигается по всей площади ПП.

В зависимости от конфигурации установки АОИ печатная плата подсвечивается разными цветами для получения более достоверной информации.

Установки оптического контроля довольно давно применяются для контроля производственных этапов. Однако до недавнего времени на производствах использовались исключительно установки 2D-инспекции, которые не позволяют обеспечить контроль ряда важных параметров. Сегодня среди предприятий – производителей электроники наблюдается глобальный тренд замещения технологии 2D-инспекции на 3D-инспекцию.

Анализ технологии 3D-инспекции, основанной на методе лазерной триангуляции

Для того чтобы получить наиболее достоверную и полную информацию о качестве трафаретной печати, необходимо иметь не только двухмерное, но и трехмерное представление. Добавление оси Z при измерениях позволяет на ранних этапах производства печатной платы обнаружить следующие дефекты:

- вычерпывание;
- дефект «собачьи уши»;
- избыточное количество паяльной пасты;

– недостаточное количество паяльной пасты.

Появление такой технологической инновации, как 3D-инспекция, обуславливается тем, что в отрасли стали применять лазерную триангуляцию и фазосдвиговой муар. Эти технологии наиболее часто используются для измерения высоты пасты в установках 3DSPi (3D Solder Paste Inspection).

Метод лазерной триангуляции долгое время используется в осуществлении трехмерного контроля качества. Он заключается в следующем [2]:

- 1) на выбранную область сверху вниз направляют луч лазера, который преобразован в плоскость;
- 2) камера реагирует на отражение лазера;
- 3) лазер перемещается по области вместе с камерой;
- 4) происходит расчет высоты методом триангуляции.

Графически данный способ изображен на рис. 1.



Рис. 1. Метод лазерной триангуляции

Данный метод имеет как преимущества, так и недостатки [3] (табл. 1). Высокая скорость инспекции и относительно низкая стоимость установки являются главными преимуществами лазерной триангуляции. Однако существенный недостаток, такой как чувствительность при переходе на другой материал, значительно снижает привлекательность этого метода. В табл. 1 приведены его основные преимущества и недостатки.

Таблица 1

Преимущества и недостатки лазерной триангуляции

Преимущества	Недостатки
Быстрое воспроизведение	Чувствительность при переходе на другой материал
Хорошая точность по оси Z для однородных материалов	Теневой эффект
Относительно низкая стоимость	Отсутствие цветопередачи

Анализ технологии 3D-инспекции, основанной на методе многочастотного муара

Метод многочастотного муара (муаровой интерферометрии) – один из методов неразрушающего оптического контроля, он может быть механическим и оптическим. Поскольку механический метод имеет ограничения относительно масштабов объектов контроля, он не используется при производстве электроники. Оптический метод, основанный на использовании явлений интерференции и дифракции света, имеет большую чувствительность, этим преимуществом обосновывается его выбор в производстве электроники.

На примере упрощенного двулучевого муарового интерферометра рассмотрим процесс измерения высоты установкой 3D-инспекции (рис. 2) [4]. Обычно в установках, работающих на основе муарового метода, используют 4–8 источников света в зависимости от комплектации. Направленные на объект пучки света в результате дифракции решеткой на множество пучков, которые ориентированы в установленных направлениях.

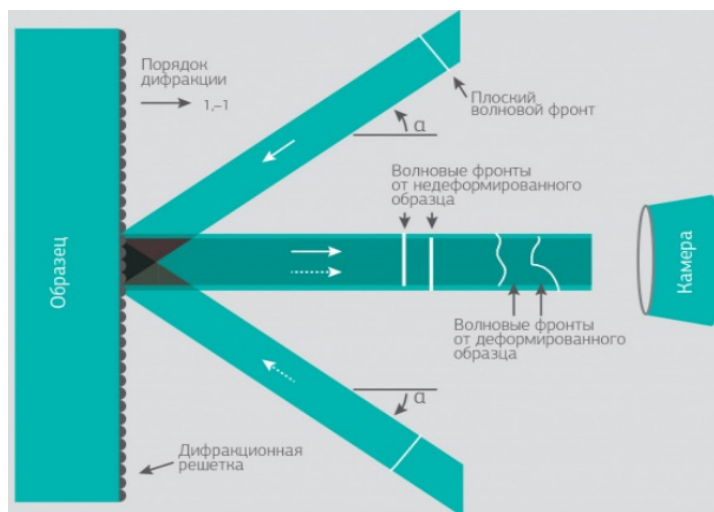


Рис. 2. Система двухлучевого муарового интерферометра

В случае если пучки света попадают на плоскую поверхность, пучки дифрагированных световых волн «-1» и «+1» отражаются под прямым углом к поверхности решетки, при этом не наблюдается явление интерференции. В случае если сканируемая область имеет неровную поверхность, дифрагированные пучки «-1» и «+1» отражаются под разными углами, при этом наблюдается явление интерференции пучков друг с другом. В результате вышеперечисленных действий возникает муаровый узор, с его помощью вычисляют высоту неровности.

На рис. 3 слева показан пример того, как располагаются дифрагированные пучки света на реальном объекте, справа представлена трехмерная модель неровности контролируемой области.

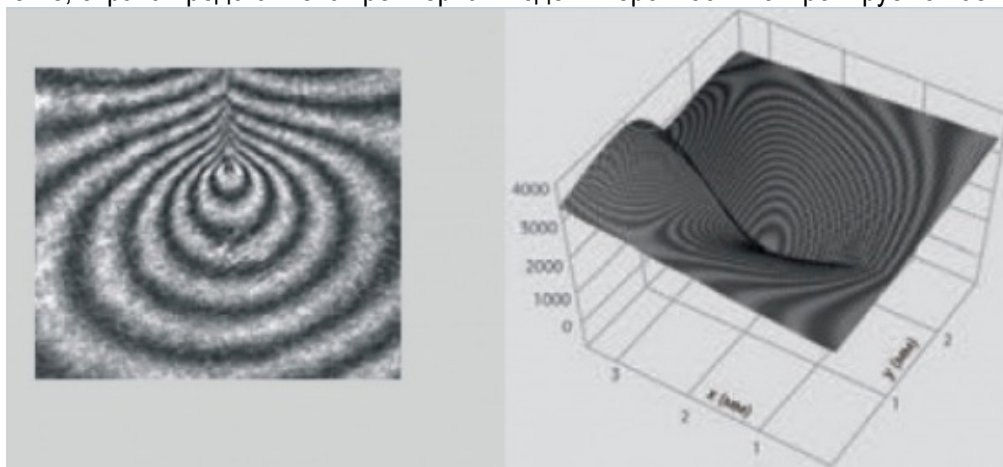


Рис. 3. Пример получения 3D-модели методом муара

Данный метод осуществления 3D-инспекции является более полезным, нежели метод лазерной триангуляции. Однако установки, принцип работы которых основан на многочастотном муаре, имеют высокую стоимость.

Выбор перспективной конфигурации установки, осуществляющей контроль качества нанесения паяльной пасты

По представленным ранее данным можно сделать вывод, что используемая на сегодняшний день технология 2D-инспекции не может обеспечить требуемый контроль качества нанесения паяльной пасты: часть дефектов, измеряющихся по высоте, не может быть обнаружена. В данной части статьи на основе метода морфологического ящика будет предложена перспективная конфигурация установки АОИ, установленной после нанесения паяльной пасты. Проблема: сфор-

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

мировать требования к установке SPI с целью улучшения процесса контроля качества нанесения паяльной пасты.

Вариации конфигурации установки SPI представлены в табл. 2.

Таблица 2

Морфологический ящик

Элементы	Варианты параметров		
Метод осуществления контроля качества нанесения паяльной пасты	2D-инспекция	3D-инспекция	Объединение 2D-и 3D-инспекции
Способ инспекции	Неподвижная ПП, перемещающаяся камера	Неподвижная камера, перемещающаяся ПП	
Подсветка	Белая	Белая, красная, зеленая, синяя	
Метод осуществления 3D-инспекции	Фазосдвиговый муар	Лазерная триангуляция	
Способ межмашинного взаимодействия	Saki self-programming	Viscom Quality Uplink и Viscom Quality Downlink	Отсутствует
Количество источников света для установки с методом фазосдвигового муара	4	8	Отсутствует

В результате анализа морфологического ящика была получена комбинация характеристик, которая обеспечивает идентификацию всех видов дефектов и позволяет наиболее оперативно реагировать на отклонения в работе автоматического принтера трафаретной печати.

Так, установка SPI должна обладать следующими характеристиками:

- 1) метод осуществления контроля качества нанесения паяльной пасты – объединение 2D- и 3D-инспекции;
- 2) способ инспекции – неподвижная камера, перемещающаяся ПП;
- 3) подсветка – белая, красная, зеленая, синяя;
- 4) метод осуществления 3D-инспекции – фазосдвиговый муар;
- 5) способ межмашинного взаимодействия – Viscom Quality Uplink и Viscom Quality Downlink;
- 6) количество источников света для установки с методом фазосдвигового муара – 8.

Стоит отметить, что данная конфигурация установки SPI является достаточно дорогой, поэтому не на всех типах производств внедрение этой установки будет иметь смысл. Сокращение расходов (на исправление бракованных сборок и т.д.) может не окупить инвестиции, затраченные на покупку установки.

Заключение

В результате проделанной работы были решены следующие задачи:

- проанализированы методы осуществления неразрушающего оптического контроля: 2D- и 3D-инспекция;
- выбрана перспективная конфигурация установки SPI.

Практической значимостью работы являются:

- обоснование необходимости внедрения трехмерной инспекции;
- разработанная конфигурация установки SPI.

В настоящей работе представлен пример технологической инновации, которая приведет к появлению конкурентных преимуществ на производстве. Однако помимо описанного существует множество векторов развития производства: автоматизация производства путем внедрения межмашинного взаимодействия, совершенствование баз данных по обнаружению дефектов и другие направления развития производства.

Библиографический список

1. Информационный портал по технологиям производства электроники. URL: http://www.elinform.ru/articles_58.htm (дата обращения: 20.02.2019).
2. Electronics: 5D-инспекция паяльной пасты. URL: [https://sovtest-ate.com/sites/default/files/Marantz%20 Electronics_0.pdf](https://sovtest-ate.com/sites/default/files/Marantz%20Electronics_0.pdf) (дата обращения: 22.01.2019).
3. *Игнашкин, С.* Инновационная технология трехмерной инспекции паяльной пасты PI. URL: https://www.pribor.ru/add/art_Ignashkin.pdf (дата обращения: 23.01.2019).
4. *Бунатян, К.* Муаровая интерферометрия. URL: <https://www.dipaul.ru/pressroom/muarovaya-interferometriya> (дата обращения: 25.01.2019).

УДК 62-4

Е. А. Гущинастудент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности**В. Ш. Сулаберидзе**

доктор технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель

УДЕЛЬНОЕ ОБЪЕМНОЕ И ПОВЕРХНОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ И МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Электроизоляционные материалы играют большую роль в электротехнике, выполняют значимые функции, и их наличие является обязательным условием функционирования любого электротехнического устройства. В связи с этим возрастает роль испытаний электроизоляционных материалов и изделий, главная задача которых – определение соответствия свойства материала требованиям стандарта или техническим условиям.

Потребности развивающейся техники стимулируют разработки новых материалов, обладающих свойствами, необходимыми для конкретных применений. Композиционные материалы на основе полимерных связующих с мелкодисперсными минеральными наполнителями являются перспективными, функциональными и конструкционными материалами в различных областях применения.

Композиционный материал – сплошной продукт, состоящий из двух или более материалов, отличных друг от друга по форме и(или) фазовому состоянию и(или) химическому составу и(или) свойствам, скрепленных, как правило, физической связью и имеющих границу раздела между обязательным материалом (матрицей) и ее наполнителями, включая армирующие наполнители (по ГОСТ 32794-2014 «Композиты полимерные. Термины и определения»).

Одним из распространенных полимерных композиционных материалов является термостойкий низкомолекулярный силиконовый каучук (СКТН А). Это низкомолекулярная диметилсилоксановая жидкость, стабилизированная активной окисью кремния и отверждаемая катализаторами холодного отверждения (по ГОСТ 13835-73 «Каучук синтетический термостойкий низкомолекулярный СКТН. Технические условия»).

Главными особенностями силиконового каучука являются его эластичность, упругость, прочность, высокие диэлектрические свойства.

Введение наполнителей в полимерную матрицу позволяет получать композиционные материалы с улучшенным комплексом физико-механических свойств. Тем не менее нельзя одновременно достичь нескольких свойств в одной композиции.

Целью работы является измерение удельных объемного и поверхностного сопротивлений композиционных материалов на основе силоксанового связующего.

ГОСТ Р 50499-93 [1] устанавливает для этих материалов методы определения при постоянном напряжении следующих характеристик:

- а) удельного объемного сопротивления (ρ);
- б) удельного поверхностного сопротивления (σ).

Удельное объемное сопротивление ρ Ом·м (Ом·см) рассчитывают по формуле

$$\rho = R_x \cdot \frac{A}{h}, \quad (1)$$

где R_x – измеренное объемное сопротивление, Ом; A – эффективная площадь защищенного электрода, м² (см²); h – средняя толщина образца, м (см). Для некоторых материалов с высоким удельным сопротивлением ток короткого замыкания I_0 до подачи напряжения (п. 10.1 стандарта) может иметь значения, сравнимые со значением установившегося тока I_s под напряжением. В таких случаях объемное сопротивление R_x , Ом вычисляют по формуле

$$R_x = U_x / (I_s \pm I_0), \quad (2)$$

где U_x – прикладываемое напряжение, В; I_s – установившийся ток под напряжением или значения тока после 1, 10 и 100 мин., если ток под напряжением меняется, А; I_0 – ток короткого замыкания до подачи напряжения, А.

Удельное поверхностное сопротивление σ , Ом, рассчитывают по формуле

$$\sigma = R_x \cdot \frac{\rho}{g}, \quad (3)$$

где R_x – измеренное поверхностное сопротивление, Ом; ρ – эффективный периметр защищенного электрода для конкретно используемого размещения электродов, м (см); g – ширина зазора между электродами, м (см).

По ГОСТ Р 50499 для проведения испытаний требуется источник хорошо стабилизированного постоянного напряжения. Значения напряжения, прикладываемого ко всему образцу, должно быть из следующего ряда: 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000, 10 000, 15 000 В.

Измерительное устройство должно обеспечивать определение значения неизвестного сопротивления с суммарной точностью не менее $\pm 10\%$ для сопротивлений меньше 10^{10} Ом и $\pm 20\%$ для более высоких значений.

Тераомметр Е6-13А (рис. 1.) предназначен для измерения сопротивления по постоянному току в диапазоне от 10 до 10^{14} Ом, а также может быть применен для определения силы постоянного тока в диапазоне от 10^{-4} до 10^{-12} А с ненормированной погрешностью.



Рис. 1. Тераомметр Е6-13А

Прибор имеет две шкалы:

- линейную шкалу от 10 до 10^6 Ом;
- обратно пропорциональную шкалу от 10^6 до 10^{14} Ом.

Падение напряжения на измеряемом объекте при использовании линейной шкалы является функцией показания прибора, т.е. зависит от сопротивления объекта и может изменяться от 0 до 10 В. При использовании обратно пропорциональной шкалы напряжение на измеряемом объекте постоянно и равно 100 В или 10 В в зависимости от положения переключателя измерительного напряжения.

Основная погрешность прибора при измерении с линейной шкалой, выраженная в процентах от конечного значения установленного поддиапазона измерения, не превышает $\pm 2,5\%$.

Основная погрешность прибора при измерении с обратно пропорциональной шкалой, выраженная в процентах от длины рабочей части шкалы, не превышает:

- $\pm 2,5\%$ – на поддиапазонах от 10^6 до 10^8 Ом;
- $\pm 4,0\%$ – на поддиапазонах от 3×10^8 до 10^{11} Ом;
- $\pm 6,0\%$ – на поддиапазонах от 3×10^{11} до 10^{12} Ом;
- $\pm 10\%$ – на поддиапазоне 10^{13} .

Вариация показаний прибора не превышает $\pm 1,0\%$. Время установления показаний прибора не более:

- 5 с. – на поддиапазонах от 10^2 до 10^{12} Ом;
- 30 с. – на поддиапазоне 10^{13} Ом.

В состав прибора входит измерительная камера, обеспечивающая точность измерений на высокоомных диапазонах, т.е. при измерениях по обратно пропорциональным шкалам.

Измерения сопротивлений проводят по схеме трех электродов:

- 1) защищенного (измерительного) электрода;
- 2) защитного (охранного) электрода;
- 3) незащищенного (электрода напряжения) электрода.

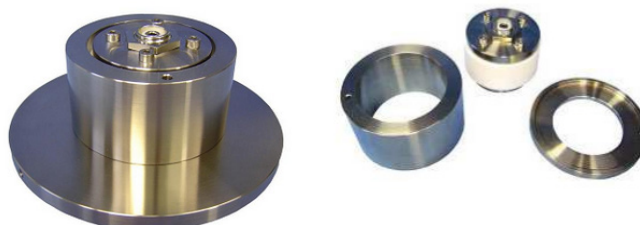


Рис. 2. Электрод FE 50 для измерения объемного и поверхностного сопротивления

Характеристики электрода FE 50:

- диаметр области измерения 50 мм;
- диаметр защитного кольца 80 мм – внешний, 60 мм – внутренний;
- расстояние измерений 5 мм;
- оптимальная область измерения для определения объемного сопротивления $23,76 \text{ см}^2$;
- максимальное испытательное напряжение 500 В.

Для проведения испытаний и определения электрических сопротивлений необходимо разработать и изготовить специальную конструкцию, состоящую из двух электродов (кольцевого и измерительного), соответствующих требованиям ГОСТ Р 50344-92, обеспечивающую достаточное прижимное усилие к поверхности испытуемого образца (около 100 гс/см^2), чтобы избежать образования проводящих дорожек, которые могут отрицательно повлиять на результаты измерений, а также третий электрод в виде сплошного диска, на который будет помещен исследуемый материал. В качестве основы при разработке электродов будем использовать рассмотренный электрод FE 50.

Для определения действительных значений удельных характеристик исследуемых образцов необходимо использовать при расчете установившееся объемное сопротивление, т.е. необходимо определить, при каком времени выдержки образца под напряжением измеренное сопротивление равно установившемуся значению или изменения измеренного сопротивления не больше 10–15%. Согласно пункту 10.1 ГОСТ Р 50499-93 измерения выполняют через 1, 2, 5, 10, 50, 100 мин., и если два последующих измерения дают одинаковые результаты, испытания прекращают. Определенное таким образом значение можно использовать в расчетах объемного сопротивления.

Особенностью электропроводности диэлектрических материалов является изменение сквозного тока от времени, так как в начальный период времени после включения постоянного напряжения, сквозной ток сопровождается поляризационными токами, поэтому для стабилизации сквозного тока требуется продолжительное время.

В качестве аппроксимирующей функции для измеренных значений материалов с известными удельными сопротивлениями была принята экспоненциальная функция с тремя коэффициентами a , b , c :

- для измеренных сопротивлений, возрастающих с увеличением времени выдержки:

$$R_1(t) = -a \cdot \exp(-b \cdot t) + c; \quad (4)$$

- для измеренных сопротивлений, уменьшающихся с увеличением времени выдержки:

$$R_1(t) = a \cdot \exp(-b \cdot t) + c. \quad (5)$$

После подачи постоянного напряжения в измерительной системе протекают паразитные токи от паразитных внешних напряжений, которые обычно имеют неизвестную величину и произвольный характер, поэтому начальные измерения, после 3 мин. выдержки под напряжением значительно

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

выпадающие из предполагаемого закона изменения, рекомендуется не учитывать при построении аппроксимирующей функции и нахождении ее коэффициентов.

Установившиеся значения сопротивления при $t \rightarrow \infty$ для аппроксимирующих функций вида (4) и (5) найдем, вычислив предел этой функции:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R_1(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} R_2(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} (\pm a \cdot \exp(-b \cdot t) + c) = c. \quad (6)$$

Таким образом, установившееся значение равно коэффициенту C .

В таблице показаны значения объемных и поверхностных сопротивлений СКТН А с различными наполнителями.

Значения измеренных объемных и поверхностных сопротивлений СКТН А с различными наполнителями

Наполнитель		Толщина образца, см	Удельное объемное электрическое сопротивление $\cdot 10^{14}$, Ом·см	Удельное поверхностное электрическое сопротивление $\cdot 10^{14}$, Ом
Химическое соединение (материал)	Содержание в композиции, %			
Al(OH) ₃ (104) Прокаль	50	0,2	1,1	5,4
	60	0,23	2,0	6,3
	70	0,17	2,9	4,1
Вспученный перлит	40	0,35	0,34	7,6
	50	0,27	0,48	6,6
	60	0,37	0,62	3,2
Wollastonit CaSiO ₃	20	0,13	1,7	11,0
	40	0,11	5,0	17,0
	50	0,26	20,0	24,0
Кристаллит SiO ₂	20	0,24	1,2	24,0
	40	0,11	4,0	35,0
	50	0,36	18,0	57,0
Нитрит бора (BN)	20	0,18	1,1	9,8
	40	0,18	1,4	6,7
	50	0,2	4,0	6,2
Кварц SiO ₂	40	0,1	10,0	9,0
	70	0,4	24,0	7,5
Al(OH) ₃ (TS305) гидроксид	50	0,13	0,97	3,8

В качестве примера на рис. 3, 4 приведены зависимости удельных сопротивлений от массового содержания вспученного перлита.

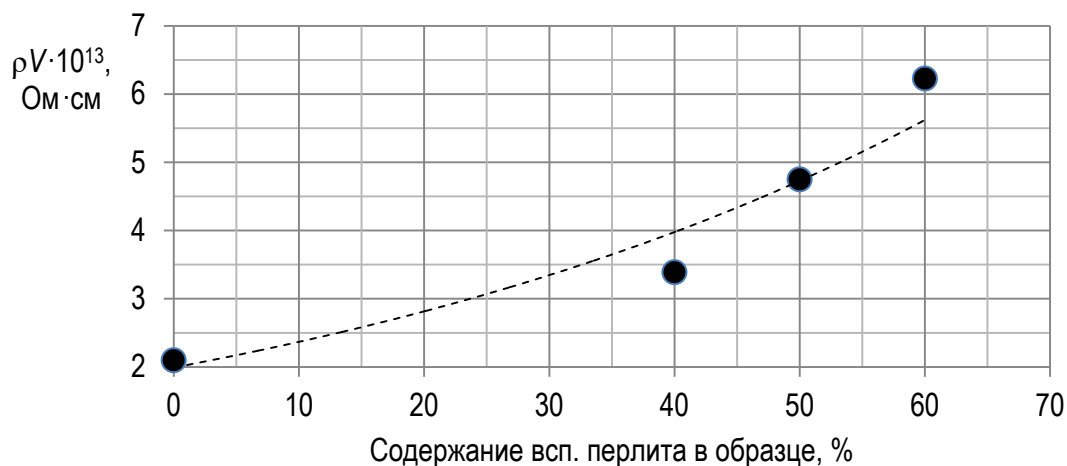


Рис. 3. Зависимость удельного объемного сопротивления от содержания вспученного перлита

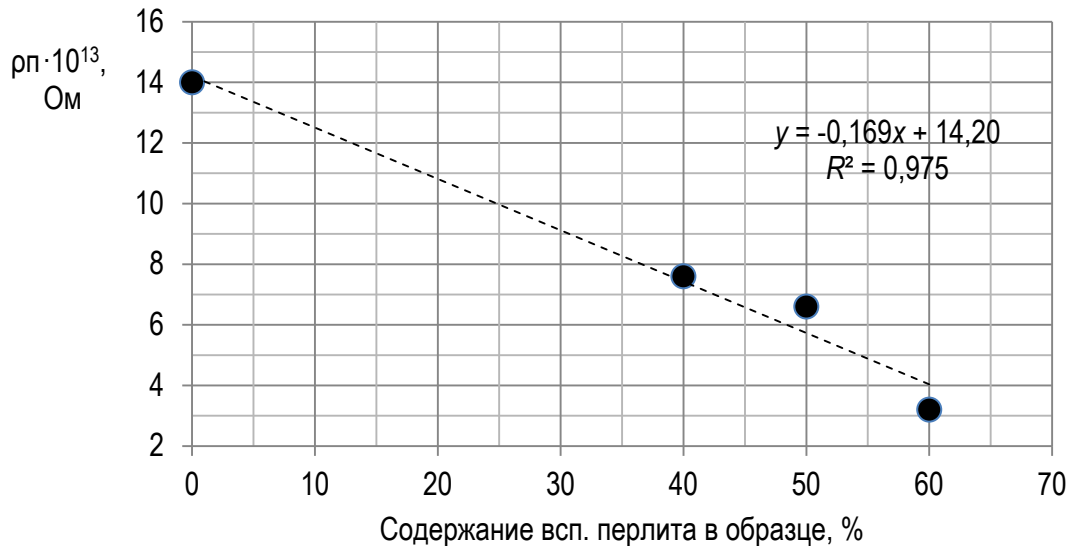


Рис. 4. Зависимость поверхностного объемного сопротивления от содержания вспученного перлита

В результате проведения испытаний были получены удельные объемные электрические сопротивления для образцов на основе СКТН А с различными наполнителями, из которых следует, что образцы обладают высокими удельными объемными сопротивлениями более 10^{14} Ом·см и высокими удельными поверхностными сопротивлениями более 10^{14} Ом, что говорит о высоких диэлектрических свойствах образцов.

Из таблицы следует, что с ростом содержания наполнителя в образцах удельные объемные электрические сопротивления возрастают.

В значениях удельных поверхностных сопротивлений однозначной зависимости нет. По-видимому, это связано с недостаточным кондиционированием образцов до измерений. Однако это не столь существенно, так как измеренные значения поверхностного сопротивления более соответствуют реальным условиям эксплуатации.

Библиографический список

1. Денисова, Э. И. Измерение теплопроводности на измерителе ИТ-λ-400 / Э. И. Денисова, А. В. Шак. ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2005.

УДК 501

А. А. Кудряшова

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

В. Ш. Сулаберидзе

доктор технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИТ-Л-400 ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОБРАЗЦОВ

В настоящее время полимеры и материалы на их основе серьезно потеснили основные конструкционные материалы. Возможности полимерных материалов чрезвычайно широки благодаря многообразию полимеров и наполнителей. Данные материалы обеспечивают надежную герметизацию, электрическую изоляцию, высокую стойкость к вибрационным и ударным нагрузкам и эффективный теплоотвод от всех компонентов в изделиях. Этим можно объяснить потребность в компаундах, которые обладают высокой теплопроводностью, при этом сохраняя все функциональные характеристики материала, такие как текучесть, прочность, эластичность.

Композиционные материалы – это двухфазные гетерогенные системы, внутренняя структура которых состоит из фаз матрицы, обладающей непрерывностью по всему объему наполнителя, компонент прерывистый, разделенные в объеме системы межфазным слоем на границе раздела (по ГОСТ 32794-2014 «Композиты полимерные. Термины и определения»).

Полимерные связующие – это синтетические или природные органические вещества, способные самопроизвольно или под действием различных факторов переходить из жидкого состояния в твердое, и как в жидком состоянии, так и после отверждения имеющие хорошую адгезию к другим материалам. Основной вид полимерных связующих – синтетические полимеры, получаемые из низкомолекулярных продуктов полимеризацией или поликонденсацией.

СКТН А – синтетическая низкомолекулярная диметилсилоксановая жидкость, стабилизированная активной окисью кремния и отверждаемая катализаторами холодного отверждения (по ГОСТ 13835-73 «Каучук синтетический термостойкий низкомолекулярный СКТН. Технические условия»).

Свойства силоксанового каучука – эластичность, упругость, жесткость, прочность, сохранение формы, предельное удлинение и твердость – слабо зависят от температуры. Силиконы сохраняют эластичные свойства при низких температурах, поэтому они могут эксплуатироваться в широком диапазоне температур.

Целью работы является исследование режимов работы ИТ-Л-400 для уточнения температурной зависимости теплопроводности образцов.

Теплопроводность образцов измеряется на установке ИТ-Л-400, в которой реализован метод динамического калориметра. Внешний вид измерителя представлен на рис. 1 [1]. Для определения теплопроводности в процессе непрерывного разогрева на фиксированных уровнях температуры измеряется разница ТЭДС термопар (на образце и пластине тепломера). По этой разнице вычисляется теплопроводность образца λ_0 :

$$\lambda_0 = \frac{h_0}{P_0},$$

где h_0 – высота образца, м; P_0 – тепловое сопротивление образца, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

$$P_0 = \frac{n_0 S (1 + \sigma_c)}{n_T K_T} - P_K,$$

где S – площадь поперечного сечения образца, м^2 ; n_0 , n_T – разница показаний термопар на образце и на пластине соответственно, мкВ ; σ_c – поправка, учитывающая теплоемкость образца, $\sigma_c = C_0/2(C_0 + C_c)$; P_K – поправка, учитывающая тепловое сопротивление контакта, неидентичность и тепловое сопротивление заделки термопар, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; K_T – коэффициент пропорциональности, характеризующий эффективную тепловую проводимость пластины, $\text{Вт}/\text{К}$.

Теплоемкость образца $C_0 = C \cdot m_0$, где C – удельная теплоемкость материала образца, Дж/(кг·К); m_0 – масса образца, кг.

Теплоемкость стержня $C_C = C_{Cu} \cdot m_C$, где C_{Cu} – удельная теплоемкость медного стержня, Дж/(кг·К); m_C – масса стержня, кг.

Таким образом, теплопроводность образца

$$\lambda_0 = \frac{h_0}{\frac{n_0 S_0}{n_t K_T} (1 + \sigma_C) - P_K}$$



Рис. 1. Измеритель теплопроводности ИТ-λ-400

Нам нужно снять показания в режиме, который точно соответствует теоретическому режиму постоянной скорости нагрева. Данному режиму соответствует ситуация, когда разница темпа роста температур во всех точках одинакова. Но из-за того что мы работаем в ручном режиме, когда стрелка гальванометра проходит через ноль, мы должны успеть не только зафиксировать значения на отсчетном устройстве, но и перевести переключатель в положение n_0 . В температурных зависимостях могут возникнуть измерения, которые не укладываются в график, и нам нужно понять, ошибка это или нет и какое именно измерение ошибка.

Методика выявления этих промахов заключается в том, что мы должны проанализировать все снятые показания с этого прибора: n_t и n_0 .

Установка ИТ-λ-400 может работать в двух режимах: стандартный режим постоянного тока и режим постоянного напряжения.

Если мы работаем в режиме постоянного тока, то должны наблюдать линейный график прямой. На рис. 2 показан пример измерения теплопроводности образца СКТН А + нитрид бора, а на рис. 3, 4 – графики n_t и n_0 в режиме постоянного тока.

На этой же установке можно реализовать второй режим измерения – режим постоянного напряжения, и тогда зависимости усложняются и нам еще легче выявить ошибки, какие измерения неверны: n_t или n_0 . На рис. 5 показан график зависимости температуры от теплопроводности образца СКТН А + Al(OH)₃ (пылевидный), а на рис. 6, 7 – графики n_t и n_0 в режиме постоянного напряжения.

Так как графики должны быть подобны, мы, сравнивая их, можем выявить ошибочный отсчет n_0 или n_t . После этого принимается решение либо о корректировке ошибочного отсчета, либо об исключении точки на температурной зависимости теплопроводности. Корректировка допустима в случаях, когда она не приводит к существенному изменению интерполяционной формулы. При этом показатель адекватности описания экспериментальной зависимости формулой R^2 , как правило, увеличивается, следовательно, интерполяционная формула описывает температурную зависимость теплопроводности более адекватно.

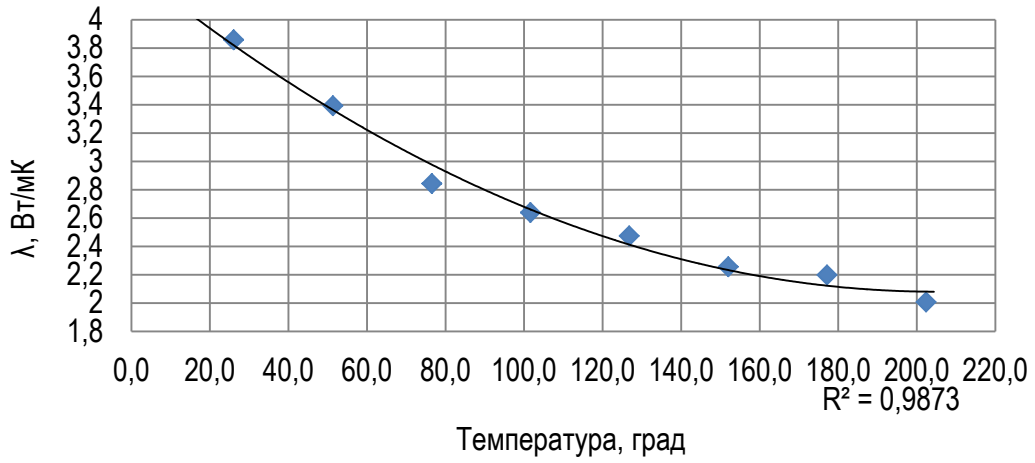


Рис. 2. Зависимость теплопроводности от температуры

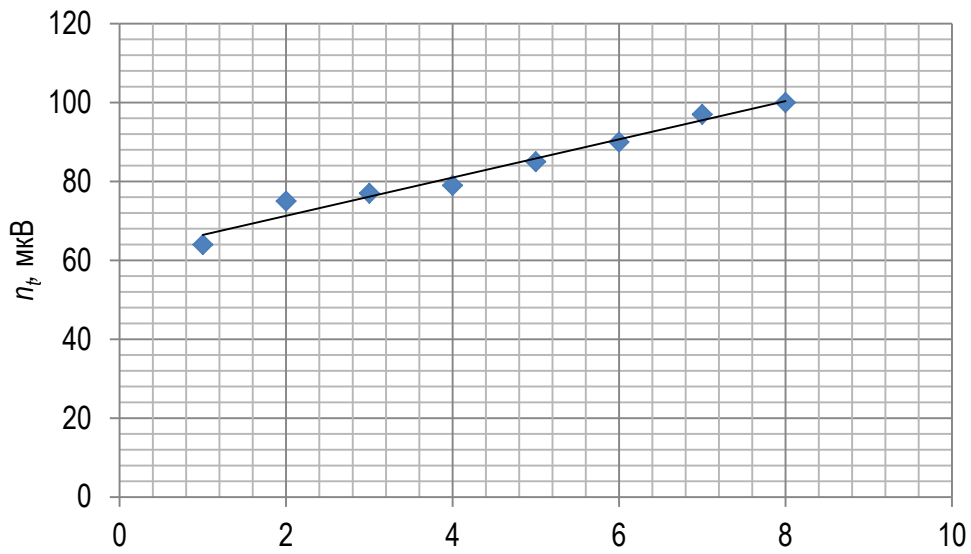


Рис. 3. График изменения η_t с температурой

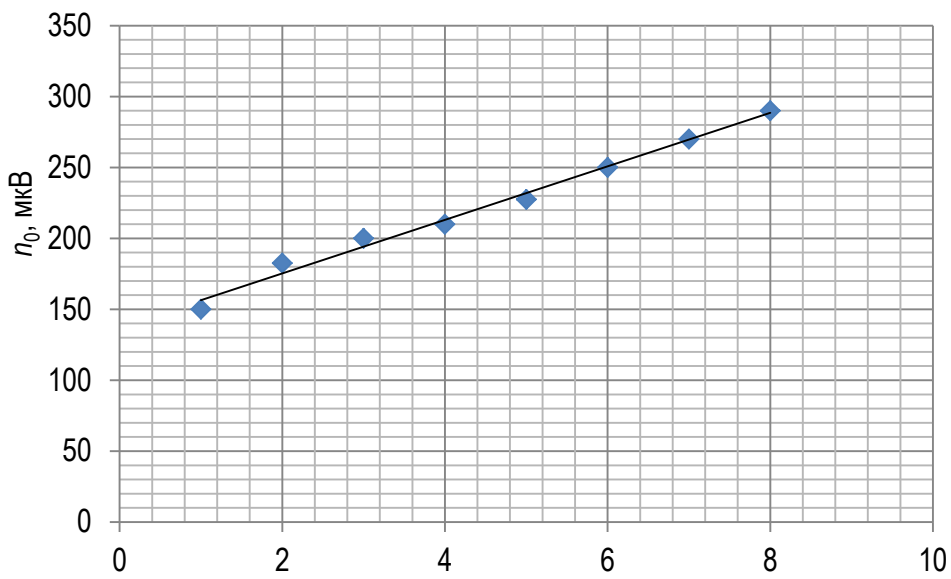


Рис. 4. График изменения η_0 с температурой

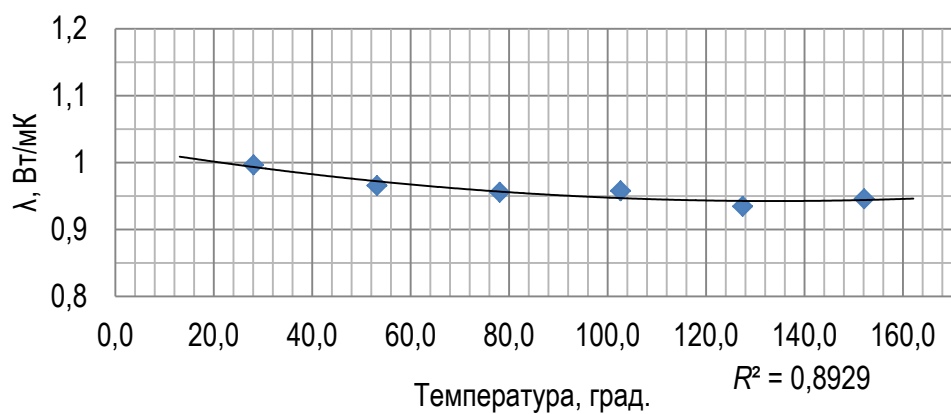


Рис. 5. Зависимость теплопроводности от температуры

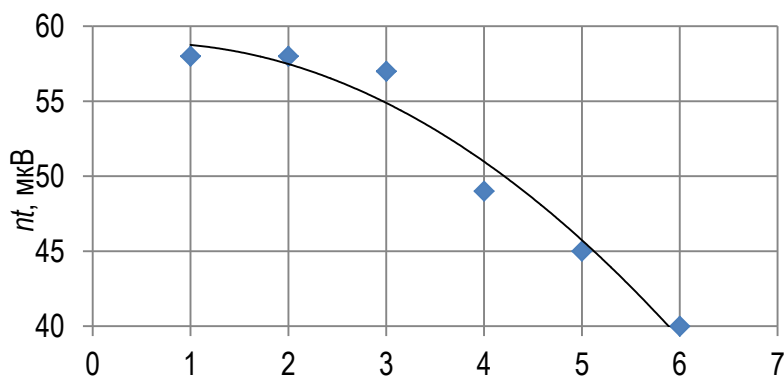


Рис. 6. График изменения n_t с температурой

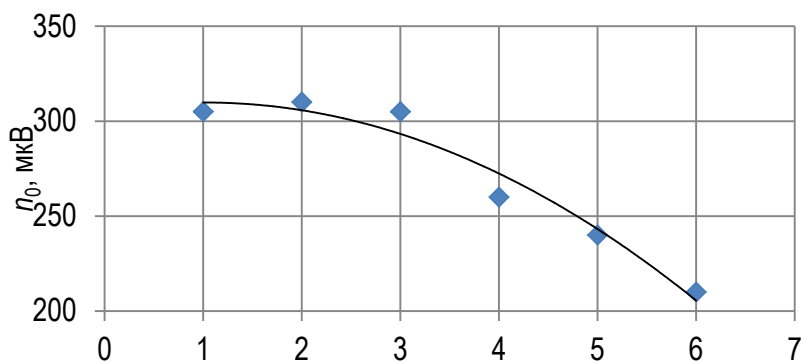


Рис. 7. График изменения n_0 с температурой

Таким образом, подробный анализ совокупности зафиксированных показаний n_0 или n_t позволяет уточнить описание температурной зависимости теплопроводности исследуемых образцов.

Библиографический список

1. Денисова, Э. И. Измерение теплопроводности на измерителе ИТ-λ-400 / Э. И. Денисова, А. В. Шак. ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2005.

УДК 006.032

А. С. Бойко

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

А. С. Коновалов

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ КОМПЕТЕНТНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

Для того чтобы заниматься своей деятельностью на законных основаниях, метрологической службе необходимо пройти процедуру аккредитации и подтверждения компетентности. Использование федеральных законов о техническом регулировании и обеспечении единства измерений гарантирует соблюдение требуемого качества и точности измерений [1, 2].

Согласно ГОСТ Р 51000.4-2011 «Общие требования к аккредитации испытательных лабораторий» под термином «аккредитация» понимается официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия.

Аккредитацией можно назвать своего рода помощь аккредитующего органа в правильной организации деятельности предприятия. Для того чтобы метрологическая служба выполняла задачи, которые она перед собой ставит, она должна быть правильно организована, порядок осуществления метрологического надзора должен быть строго задокументирован, а персонал должен пройти специальную подготовку. Во всех этих действиях метрологическая служба может рассчитывать на помощь и аккредитующего органа, и уполномоченной экспертной организации.

Для проведения процедуры подтверждения компетентности необходимо четко следовать сформулированным критериям аккредитации, которые в зависимости от того, на какой вид деятельности претендует метрологическая служба, могут иметь свои специфические особенности [3]:

1. Наличие системы менеджмента качества и соблюдение требований СМК, установленных в руководстве по качеству.

2. Наличие нормативных правовых актов, документов в области стандартизации, правил и методов исследований (испытаний) и измерений и иных документов, указанных в области аккредитации в заявлении об аккредитации или в аттестате аккредитации, а также соблюдение требований данных документов.

3. Наличие у работников лаборатории высшего, среднего профессионального или дополнительного профессионального образования по профилю, соответствующему области аккредитации, указанной в заявлении об аккредитации или в аттестате аккредитации, не менее трех лет.

4. Наличие по месту осуществления деятельности в области аккредитации, в том числе по месту осуществления временных работ, на праве собственности или на ином законном основании, предусматривающем право владения и(или) пользования, помещений, испытательного оборудования, средств измерений и стандартных образцов, соответствующих требованиям законодательства РФ об обеспечении единства измерений [4].

В акционерное общество «Авиационный ремонтный завод» (далее – АО «АРЗ») входит подразделение метрологической службы (МС АО «АРЗ»), которая и занимается поверкой средств измерений. Метрологическую службу возглавляет главный метролог, выполняющий функции менеджера по качеству, отвечающего за использование и постоянное функционирование системы менеджмента качества в МС. Структура, основные функции, права, обязанности и ответственность МС установлены в «Положении о метрологической службе» П-327-2018, утвержденном управляющим директором общества 09.10.2018 г.

Метрологическая служба поверяет исключительно средства измерений, используемые в структурных подразделениях АО «АРЗ», и не привлекает сторонних юридических лиц или индивидуальных предпринимателей к выполнению отдельных работ в области аккредитации.

В Обществе разработан комплекс мер, позволяющий обеспечить предотвращение и разрешение конфликтов интересов, гарантирующий беспристрастность и свободу руководства и работников МС от любого неподобающего внутреннего и внешнего коммерческого, финансового или другого давления и влияния, которое может оказывать отрицательное воздействие на качество выполнения работ по поверке средств измерений.

АО «АРЗ» аккредитовано в области обеспечения единства измерений для выполнения работ (оказания услуг) по поверке средств измерений геометрических, механических величин, давления, вакуума, теплофизических и температурных измерений, измерений времени и частоты, измерений электрических и магнитных величин, радиотехнических и радиоэлектронных измерений, а также специализированных средств измерений авиационного сервиса. Аттестат аккредитации № RA.RU.311639, дата внесения в реестр сведений об аккредитованном лице 26.04.2018 г., шифр поверительного клейма ВШИ [5].

Предприятие имеет мощную производственно-техническую базу и располагает современным оборудованием, высокоточными металлообрабатывающими станками и высококвалифицированными специалистами. Большое внимание уделяется вопросам повышения качества ремонта авиационной техники путем развития и внедрения на предприятии новых технологий, развития материально-технической базы.

По результатам выездной экспертизы установлено соответствие АО «АРЗ» критериям аккредитации в области обеспечения единства измерений, утвержденным приказом Минэкономразвития России от 30.05.2014 г. № 326, а также применимым требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
3. ГОСТ Р 51000.4-2011. Общие требования к аккредитации испытательных лабораторий.
4. Приказ Минэкономразвития от 30.05.2014 г. № 326 «Об утверждении Критериев аккредитации, перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации, и перечня документов в области стандартизации, соблюдение требований которых заявителями, аккредитованными лицами обеспечивает их соответствие критериям аккредитации».
5. Федеральный закон от 28.12.2013 г. № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».

А. А. Тужилкин, Н. А. Суханова, Ш. А. Султанова, Ю. Н. Виноградов
преподаватели СПб ГБПОУ ПКГХ

ИСПЫТАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПРОДУКЦИИ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ КУРСОВОМ И ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Оценка качества – это систематическая проверка, насколько объект способен выполнять установленные требования. Невыполнение установленных требований является несоответствием ИСО 8402. Основная форма проверки – контроль.

Контроль – это получение информации о фактическом состоянии объекта (первичная информация для продукции – информация о качественных и количественных характеристиках) и сопоставление полученной информации с заранее установленными требованиями, то есть нормами (вторичной информацией).

Контроль качественных и(или) количественных характеристик продукции выполняется по ГОСТ 16504-81 «Государственная система обеспечения единства измерений. Испытания и контроль качества продукции. Основные понятия. Термины и определения».

Операции процедуры контроля: измерения (самостоятельная процедура, является объектом метрологии); анализ продукции (аналитические методы – химический, микробиологический, микроскопический анализ); испытания (экспериментальные методы).

Испытания – экспериментальное определение количественных и(или) качественных характеристик объекта испытаний (ГОСТ 16504-81). Проведение испытаний товаров предусматривает условия их осуществления, использование средств испытаний и средств измерений: технические устройства, измерительные приборы, вещества и материалы.

Основное средство испытаний – испытательное оборудование, основные и вспомогательные вещества и материалы, применяемые при испытаниях.

Основные требования к качеству проведения испытаний: точность, воспроизводимость.

Виды испытаний: лабораторные (для товаров); полигонные; натурные.

Испытание на функционирование осуществляется при условии воздействия на товары определенных реальных или моделируемых внешних факторов, а контроль – при нормальных климатических условиях (температура $t [15/35]$ °С, относительная влажность $W [45/75]\%$, атмосферное давление $P [650/800]$ мм рт. ст.). При испытаниях подвергается испытательным процессам выборка товаров, а при контроле – 100% товаров. Испытания проводятся по схеме программно-целевого планирования, а контроль – на всех этапах жизненного цикла товаров.

В связи с этим при курсовом и дипломном проектировании огромную роль играет выбор испытательного оборудования. Задача выбора вибростенда встает каждый раз, когда необходимо провести испытания на воздействие вибрации для образцов новой продукции. Подобную задачу решают студенты в соответствующем разделе курсового проекта или ВКР при разработке программы и методики испытаний своего устройства.

Для решения данного вопроса в первую очередь следует руководствоваться рекомендациями ГОСТ Р ИСО 10813-1-2011. Этот подход требует значительной части математических расчетов, за которыми теряется физический смысл и «раздувается» соответствующий раздел. Поскольку электродинамические виброустановки (ЭДВ) поставляются комплектно, то расчет требований к составляющим ЭДВ не имеет смысла.

Учитывая сказанное, в практике курсового и дипломного проектирования следует пользоваться упрощенной методикой, предлагаемой далее.

Согласно ГОСТ 25051.4-83 п. 1.2 наиболее важным параметром ЭДВ является максимальное значение силы F , которую он развивает при синусоидальных колебаниях (СК), широкополосной случайной вибрации (ШСВ) и классическом ударе (КУ), имеющем форму полусинуса, зуба пилы и трапеции.

Другие параметры стенда ЭДВ, которые следует учитывать:

- **Допустимая статическая нагрузка** – предельный вес, которым можно нагрузить арматуру (цилиндрический столик вибростенда, в корпусе которого расположена малая катушка) обесточенного ЭДВ.
- **Масса арматуры** – ее следует учесть при расчете силы, необходимой для перемещения образца.
- **Диаметр арматуры и параметры ее отверстий** для крепежа образца или приспособления, фиксирующего образец.
- **Допустимый эксцентрический момент арматуры** – предельный опрокидывающий момент, который не приведет к разрушению виброгенератора. Этот момент возникает при закреплении образца со смещением его центра массы относительно вертикальной оси арматуры.
- **Диапазон рабочих частот** – полоса частот, в которой производитель гарантирует плавную нагрузочную характеристику вибростенда (без острых резонансов).
- **Допустимое вибросмещение арматуры** – расстояние, которое проходит арматура от самого низкого до самого высокого своего положения. Оно определяется конструкцией и ограничивает возможное виброускорение при работе в области низких частот.
- **Допустимая виброскорость** – зависит от максимального выходного напряжения усилителя. Это накладывает ограничение на сочетание параметров (ускорение – длительность) ударного импульса.

Таким образом, прежде всего следует вычислить силу, которую нужно обеспечить при СК, ШСВ и КУ:

$$F_{СК} = m \times A_{СК},$$

$$F_{ШСВ} = m \times A_{rms},$$

$$F_{КУ} = m \times A_p,$$

где $m = m_{ар} + m_{кр} + m_{обр} + m_{ст}$ – полная перемещаемая масса; $m_{ар}$ – масса арматуры; $m_{кр}$ – масса крепежа образца, в том числе приспособления, если оно используется; $m_{обр}$ – масса образца; $m_{ст}$ – масса стола, надеваемого сверху на арматуру, или плиты горизонтального стола, которую толкает повернутый горизонтально виброгенератор.

По полученным значениям $F_{СК}$, $F_{ШСВ}$, $F_{КУ}$ остается выбрать вибростенд, который, с одной стороны, должен обеспечить полученные значения силы (желательно иметь 20%-ный запас по силе, особенно в режиме удара), с другой стороны, масса, закрепляемая на арматуре и равная ($m_{кр} + m_{обр} + m_{ст}$), должна быть меньше допустимой статической нагрузки вибростенда. Если последнее условие не выполняется, следует либо выбрать более мощный вибростенд, либо использовать специальное устройство разгрузки арматуры, ухудшающее динамические характеристики стенда.

Рассмотрим следующий пример: изделие группы исполнения по стойкости к механическим факторам – М1 в соответствии с ГОСТ 25467 предстоит испытывать на синусоидальную вибрацию (СК) и механический удар (КУ) по следующим параметрам (табл. 1).

Таблица 1

Технические характеристики

Синусоидальная вибрация			Механический удар многократного действия	
Диапазон частот, Гц	Амплитуда ускорения, м·с ⁻² (g)	Степень жесткости по ГОСТ 20.57.406-81	Пиковое ударное ускорение, м·с ⁻² (g)	Степень жесткости по ГОСТ 20.57.406-81
1–35*	5 (0,5)	I	150 (15)	I

Параметры изделия:

- габаритные размеры (Д × Ш × В): 200 × 150 × 35 мм;
- масса $m_{обр}$: 200 г;
- масса арматуры $m_{ар}$: 100 г;

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

- масса крепежа $m_{кр}$: 100 г;
- масса стола $m_{ст}$: 600 г.

Таким образом, полная перемещаемая масса составит:

$$m = m_{ар} + m_{кр} + m_{обр} + m_{ст} = 100 + 100 + 200 + 600 = 1000 \text{ г} = 1 \text{ кг}$$

В этом случае ЭДВ должна развивать силу:

- для синусоидальной вибрации:

$$F_{СК} = m \cdot A_{СК} = 1 \cdot 5 = 5 \text{ Н};$$

- для механического удара:

$$F_{СК} = m \cdot A_p = 1 \cdot 150 = 150 \text{ Н}.$$

Установив 20%-ный запас, получим данные для выбора вибростенда:

$$F_{СК} = 6 \text{ Н};$$

$$F_{КУ} = 180 \text{ Н}.$$

Вопрос маркетинга выпускаемых промышленностью отечественных и импортных ЭДВ – это самостоятельная работа студента. Мы рассмотрим применение малогабаритных электродинамических виброустановок фирмы IMV, одна из которых имеется в испытательной лаборатории колледжа (табл. 2).

Таблица 2

Технические характеристики ЭВД малой мощности

Модель		m030/MA1	m060/MA1	m120/MA1	m030H/MA1
Диапазон частот, Гц		5–3000	5–3000	5–2000	1000–10 000
Выталкивающее усилие	Синусоидальный профиль, Н	300	600	1200	380
	Профиль случайной вибрации, $H_{СКЗ}$	210	420	840	266
	Ударный профиль, Н	300	600	1200	380
Максимальное ускорение	Без нагрузки, m/c^2	500	500	500	200
	Нагрузка 0,5 кг, m/c^2	272	352	413	158
	Нагрузка 1,0 кг, m/c^2	187	272	352	131
Максимальная скорость, м/с		1,6	1,6	1,6	– *
Максимальное перемещение, мм		26	30	30	– *
Допустимая нагрузка на стол, кг		15	15	120	15
Потребляемая мощность, кВА		0,4	0,7	1,1	0,4
Актюатор		m030	m060	m120	m030H
Тип подвески		Диафрагменная пружина			Резиновая пружина
Масса подвижных частей, кг		0,6	1,2	2,4	1,9
Диаметр стола, мм		114	114	174	65
Размеры, мм		Ø190×В 240	Ø230×В 281	Ø410×410 × В372	Ø190×В 274
Масса, кг		22	40	110	26
Усилитель		MA1	MA1	MA1	MA1
Выходная мощность, кВА		1,0	1,0	1,0	1,0
Размеры Ш × В × Г, мм		430×149×430	430×149×430	430×149×430	430×149×430
Масса, кг		25	25	25	25
Метод охлаждения		Воздушный			
Охладитель		Встроен в актюатор			

Библиографический список

1. *Матвеева, И. В.* Разработка и сертификация систем качества в России. Стратегия, проблемы, рынок услуг / И. В. Матвеева. М.: РИА «Стандарты и качество», 2009. 156 с.
2. *Столетний, В. М.* Планирование и управление вчера, сегодня, завтра / В. М. Столетний // Экономика и менеджмент. Вып. 2. СПб.: СПбГТИ (ТУ). 2010.
3. *Асаенок, И. С.* Охрана труда и экологическая безопасность / И. С. Асаенок, Т. Ф. Михнюк, Г. М. Дунаева. Минск: БГУИР, 2007.
4. *Палаткин, И.* Управление качеством продукции на предприятии / И. Палаткин, В. Волков // АПК: экономика и управление. 2008. № 4.

УДК 504.3.054

А. В. Большевикова

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

А. С. Степашина

кандидат технических наук, старший преподаватель – научный руководитель

КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Атмосферный воздух является важной частью окружающей нас среды. Непрерывное негативное воздействие на атмосферу и неудовлетворительное решение вопросов по очищению воздуха отрицательно влияют на состояние здоровья жителей и туристов Санкт-Петербурга, поэтому актуальными на сегодняшний день остаются проблемы загрязнения атмосферного воздуха и реализация мероприятий по его очистке. Целью данной работы является анализ существующих выбросов загрязняющих веществ и их оценка на примере предприятия СПб ГУДП «Путь» (г. Санкт-Петербург).

Загрязняющее вещество – вещество, не входящее в постоянный состав атмосферы и неблагоприятно воздействующее на окружающую среду и здоровье людей [1]. Источник выбросов загрязняющих веществ – объект, от которого загрязняющее вещество поступает в атмосферу (труба, шахта и т.д.).

Источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу могут быть стационарными, когда координата самого источника не изменяется во времени, и передвижными (нестационарными). Также источники выбросов подразделяют на организованные и неорганизованные. Из организованного источника загрязняющие вещества поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздухопроводы, трубы. Неорганизованный источник выделения загрязняющих веществ образуется в результате нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по отсосу пыли и газов, в местах загрузки, выгрузки или хранения продукта. К неорганизованным источникам относят автостоянки, склады горюче-смазочных или сыпучих материалов и другие площадные источники.

Земельный участок предоставлен в пользование КУГИ СПб на условиях долгосрочной аренды на основании договора № 05/ЗД-03975 от 12.01.2006 г. Площадь участка составляет 9181 м². Площадь застройки составляет 345,8 м².

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 (новая редакция) [2] (в ред. Изменения № 1, утв. Постановлением главного санитарного врача РФ от 10.04.08 г. № 25; Изменения № 2, утв. Постановлением главного санитарного врача РФ от 06.10.09 г. № 61; Изменения № 3, утв. Постановлением главного санитарного врача РФ от 09.09.10 г. № 122) [3] установлено, что предприятия, являющиеся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека, необходимо отделять от жилой застройки санитарно-защитными зонами (СЗЗ). В соответствии с классификацией предприятий площадка № 2 СПб ГУДП «Путь» относится к предприятиям IV класса с нормативной санитарно-защитной зоной (СЗЗ) размером 100 м. Перечень основных выбрасываемых веществ приводится в табл. 1.

Таблица 1

**Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых
в атмосферу СПб ГУДП «Путь» в 2018 г.**

Код	Наименование вещества	Выброс вещества, г/с	Выброс вещества, т/год
0301	Азота диоксид	0,0170728	0,033713
0304	Азот (II) оксид	0,0027742	0,005479
0328	Углерод (сажа)	0,0030436	0,004190
0330	Сера диоксид	0,0024844	0,005545
0337	Углерод оксид	0,2725549	0,459361
2704	Бензин	0,0386515	0,070253
2732	Керосин	0,0102904	0,014205

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Основными источниками загрязнения атмосферы в предприятии «Путь» являются транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). При сгорании топлива в ДВС выделяются тяжелые металлы и токсичные примеси, чрезвычайно вредные свинцовые соединения, вызывающие тяжелейшие заболевания.

Пути снижения вредности автомобильных выбросов:

- 1) повышение качества двигателей;
- 2) установка устройств (катализаторов), снижающих концентрацию вредных веществ в выхлопных газах;
- 3) поиск новых видов топлива;
- 4) создание новых экологически чистых двигателей.

Для загрязняющих атмосферу веществ органами Санэпиднадзора установлена предельно допустимая концентрация (ПДК). В настоящее время ПДК установлены для воздуха рабочей зоны более чем для 850 веществ. Категория предприятия по воздействию его выбросов на атмосферный воздух определяется на основании расчетов рассеивания выбросов. По результатам расчетов в разрезе каждого j -го ЗВ, выбрасываемого источниками предприятия, рассчитывается параметр g_j [4].

Параметр g^{np} для предприятия соответствует наибольшему из всех g_j по отдельным режимам и веществам (группам веществ) (табл. 2):

$$g^{np} = \text{MAX}\{g_j; g_k^{np}\}.$$

К 4-й категории относятся предприятия, для которых выполняется условие $g^{np} \leq 0,1$.

К 3-й категории относятся предприятия, для которых выполняется условие $0,1 < g^{np} \leq 0,1$.

Для определения предприятий 1-й и 2-й категории рассчитывается параметр K по формуле [5].

Если одновременно выполняются условия $g^{np} > 1, K > 10^4$,

то предприятие относится к **1-й категории**.

Предприятия, не отнесенные к 1-й категории, для которых одновременно выполняются условия

$$g^{np} > 1, \quad K \leq 10^4,$$

относятся ко **2-й категории**.

Таблица 2

Режимная таблица

Код	Наименование вещества	Выброс вещества, г/с	Выброс вещества, т/год	ПДК, ОБУВ, мг/м ³	Параметры		
					g_j	K_j	H_{cp}
0301	Азота диоксид	0,0429581	0,131865	0,2000000	0,060	0,659	5,938
0304	Азот (II) оксид	0,0069806	0,021428	0,4000000	0,020	0,054	5,938
0328	Углерод (сажа)	0,0049952	0,010010	0,1500000	0,040	0,067	5,938
0330	Сера диоксид	0,0569332	0,193705	0,5000000	0,070	0,387	5,938
0337	Углерод оксид	0,3210007	0,637059	5,0000000	0,070	0,127	5,938
2704	Бензин нефтяной	0,0386515	0,070253	5,0000000	0,007	0,014	4,700
2732	Керосин	0,0102904	0,014205	1,2000000	0,009	0,012	4,750
	Итого					1,320	

Итоговые расчетные параметры:

$$g^{np} = \text{MAX}\{g^{np}\} = 0,070$$

$$K = \text{СУММА}(K_i) = 3,931.$$

В нашем случае, так как $g^{np} \leq 0,1$, предприятие относится к 4-й категории.

Далее мы произведем расчет основных загрязняющих веществ.

1. Расчет выбросов твердых частиц:

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

$$M_{TB} = BA^r f(1 - \eta_3), \quad (1)$$

где B – расход топлива, т/год, г/с; A^r – зольность топлива на рабочую массу, %; $A^r = 0,025$ (для дизельного топлива); $f = a_{ун}/(100 - \Gamma_{ун})$; $A_{ун}$ – доля золы топлива в уносе, %; $\Gamma_{ун}$ – содержание горючих в уносе, %.

2. Расчет выбросов окислов серы:

$$M_{SO_2} = 0,02BS^r(1 - \eta'_{SO_2}) * (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (2)$$

где B – расход топлива, т/год, г/с; S^r – содержание серы в топливе на рабочую массу, %; η'_{SO_2} – доля окислов серы; η''_{SO_2} – доля окислов серы, улавливаемые в золоуловителе.

3. Расчет выбросов окиси углерода:

$$M_{CO} = 0,001C_{CO}B \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (3)$$

где B – расход топлива, т/год, г/с; C_{CO} – выход окиси углерода при сжигании топлива, в кг/т или на тыс. м³ топлива. Рассчитывается по формуле

$$C_{CO} = q_3RQ^r,$$

где q_3 – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %; R – коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную наличием в продуктах неполного сгорания окиси углерода, принимается для твердого топлива – 1,0; газа – 0,5; Q^r – низшая теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг; q_4 – потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

4. Расчет выбросов окислов азота:

$$M_{NO_2} = 0,001BQ^r K_{NO_2}(1 - \beta), \quad (4)$$

где B – расход топлива, т/год, г/с; K_{NO_2} – параметр, характеризующий количество окислов азота, образующихся на 1 ГДж тепла, кг/ГДж; β – коэффициент, учитывающий степень снижения выбросов окислов азота в результате применения технических решений; Q^r – теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг.

Таблица 3

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу

Код	Название вещества	Максимальный разовый выброс, г/с	Валовый выброс, т/год
0301	Азота диоксид	0,0097019	0,057454
0304	Азот (II) оксид	0,0015766	0,009336
0328	Углерод (сажа)	0,0002616	0,001570
0330	Сера диоксид	0,0147000	0,088200
0337	Углерод оксид	0,0138826	0,083296

Согласно п. 1 статьи 25 Федерального закона № 96 «Об охране атмосферного воздуха» производственный контроль за охраной атмосферного воздуха осуществляют юридические лица, которые имеют источники вредных химических, биологических и физических воздействий на атмосферный воздух и которые назначают лиц, ответственных за проведение производственного контроля за охраной атмосферного воздуха, и(или) организуют экологические службы.

Анализ существующих выбросов загрязняющих веществ на территории предприятия СПб ГУДП «Путь» не выявил их увеличения. Для контроля загрязнения атмосферы необходимо систематизировать сведения о количестве и составе загрязняющих веществ, которые можно получить на основании инвентаризации.

Библиографический список

1. Голицын, А. Н. Промышленная экология и мониторинг загрязняя природной среды / А. Н. Голицын. М.: Оникс, 2007.

2. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03». Минздрав России, 2003.

3. Постановление № 25 от 10.04.2008 г. «Об утверждении СанПиН 2.2.1/2.1.1.-2361-08».

4. Изменение № 2 к СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Новая редакция», Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.2.1. Постановление № 61 от 06.10.2009 г.

5. Госкомэкологии России, НИИ «Атмосфера»: методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при сварочных работах (на основе удельных показателей). СПб.: Интеграл, 2000.

УДК 621.317.2

О. В. Чупринова

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

А. С. Степашина

кандидат технических наук, старший преподаватель – научный руководитель

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОЛЬТАМПЕРМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Лабораторный прибор М2044 – прецизионный вольтамперметр постоянного тока применяется при поверке и калибровке менее точных приборов, а также для проверки параметров изделий при их производстве, контроле и испытаниях.

Прибор оформлен в пластмассовом корпусе (рис. 1). На лицевой стороне помещены переключатель диапазонов измерений, переключатель кратности для включения прибора в измерительную схему, корректор для установки указателя на нулевую отметку шкалы. Шкала прибора снабжена антипараллаксным устройством. Длина шкалы 150 мм. Примененные в приборе зажимы с несвинчивающимися головками позволяют использовать также и провода со штепсельными наконечниками [1].



Рис. 1. Внешний вид вольтамперметра М2044

Для усовершенствования вольтамперметра был разработан блок, который подключается последовательно к измерительному прибору в режиме амперметра. Электрическая схема блока и схема подключения представлены на рис. 2.

Блок включает в себя источник постоянного напряжения ($\epsilon = 9\text{ В}$), потенциометр – подстроечное сопротивление – $R_{п}$; добавочное сопротивление $R_{доб}$, стабилизатор 78L05. Образец – измеряемое значение сопротивления $R_{изм}$ – подключается последовательно к блоку и вольтамперметру.

Выполним подбор элементов блока.

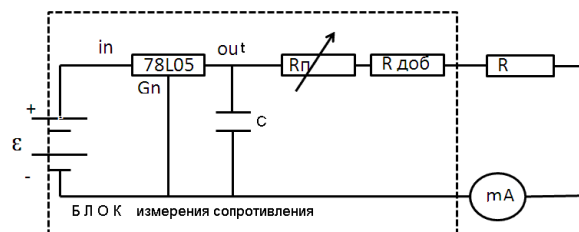


Рис. 2. Схема добавочного блока для измерения электрического сопротивления

В схеме стоит стабилизатор 78L05. Это один из самых распространенных стабилизаторов напряжения на 5 В. Данный стабилизатор недорогой и простой в применении. Стабилизатор 78L05 (7805) имеет тепловую защиту, а также встроенную систему, предохраняющую стабилизатор от перегрузки по току [2].

Технические параметры:

- входное напряжение: от 7 до 20 В;
- выходное напряжение: от 4,5 до 5,5 В;
- выходной ток (максимальный): 100 мА;
- ток потребления (стабилизатором): 5,5 мА;
- допустимая разница напряжений вход-выход: 1,7 В;
- рабочая температура: от –40 до +125 °С.

Перед началом работы блок необходимо откалибровать. Выберем режим измерения амперметра 3 мА. Рассмотрим случай, когда измеряемое сопротивление полагаем равным 1000 Ом (максимально возможное для измерения), напряжение на стабилизаторе согласно паспорту элемента составляет 5 В. Рассчитав значение силы тока, получаем 5 мА. Полученное значение больше максимального значения на шкале вольтамперметра. Для решения данной проблемы в схему добавляем два сопротивления: потенциометр $R_{п}$ – подстроечное сопротивление и $R_{доб}$ – добавочное сопротивление – и добиваемся желаемого значения в 3 мА (по шкале прибора). Расчет сопротивления для подстроечного и добавочного резисторов рассчитываем по формуле:

$$R = \frac{5V}{3 \times 10^{-3} A} \approx 1,5 \times 10^3 \text{ Ом} .$$

Для предела в 1000 Ом:

$$R_{доб} + R_{п} = R - R_{изм} = 1,5 \times 10^3 \text{ Ом} - 1000 \text{ Ом} = 500 \text{ Ом} \Rightarrow R_{доб} = 330 \text{ Ом}; R_{п} = 330 \text{ Ом} .$$

Значения для $R_{доб}$ и $R_{п}$ взяты с запасом для обеспечения корректной дальнейшей работы прибора.

Для работы с прибором необходимо отградуировать шкалу в единицах сопротивления, Ом. Значению в 1000 Ом будет соответствовать значение 3 мА [3].

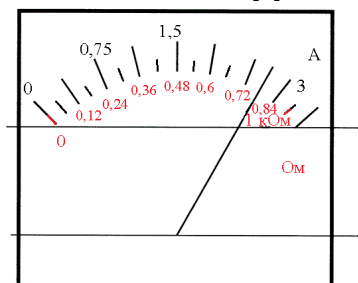


Рис. 3. Градуировка шкалы вольтамперметра в единицах сопротивления

В ходе работы получен проект вольтамперметр, способный измерить сопротивление в 1 кОм с помощью добавленного блока.

Библиографический список

1. Паспорт. Вольтамперметры М2044, М2051. ООО «Росток прибор ЛТД». URL: http://rostok-pribor.com/device_81.html (дата обращения: 24.04.2019).
2. Стабилизатор 78L05: параметры, схема включения. URL: <http://hardelectronics.ru/?s=78L05> (дата обращения: 24.04.2019).
3. Ткалич, В. Л. Основы метрологии стандартизации и сертификации / В. Л. Ткалич, М. Я. Марусина, Е. А. Воронцов, Н. Д. Скалецкая. СПб.: СПбГУИТМО, 2009. с. 39

УДК 64-02

Д. А. Шилов, П. А. Около-Кулакстуденты кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности**К. В. Епифанцев**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

В настоящее время промышленные датчики перемещений необходимы для увеличения продуктивности и точности работы металлообрабатывающих станков с ЧПУ. В течение двух десятилетий во всех отраслях производства успешно применяются датчики и измерители пути: датчик положения, датчик перемещения. Будучи связующим звеном между электронной и механической частями станка, датчик перемещения и датчик положения является неотъемлемым элементом оборудования для автоматизации различных процессов.

В специализированной аудитории ГУАП «ФГУП Тест-С. Петербург» проводятся исследования индуктивных датчиков перемещения на установке ИД-3. Исследования позволяют совершенствовать главные метрологические характеристики оборудования, применяемого для измерений в металлообработке.

В измерительных преобразователях, используемых для контроля перемещений в металлообрабатывающих станках (рис. 1), используются датчики двух типов – индуктивные и индукционные.

Индуктивным называется преобразователь, который преобразует значение измеряемой (механической) величины в значение индуктивности. Он представляет собой катушку индуктивности, полное сопротивление которой изменяется при взаимном перемещении элементов магнитопровода.

Индукционным называют такой преобразователь, в котором скорость изменения измеряемой величины преобразуется в индуцируемую ЭДС. В данных преобразователях естественной входной величиной является скорость механического перемещения (и поэтому непосредственно они могут применяться только для измерения скорости линейных и угловых перемещений), а выходной величиной – индуцированная ЭДС.

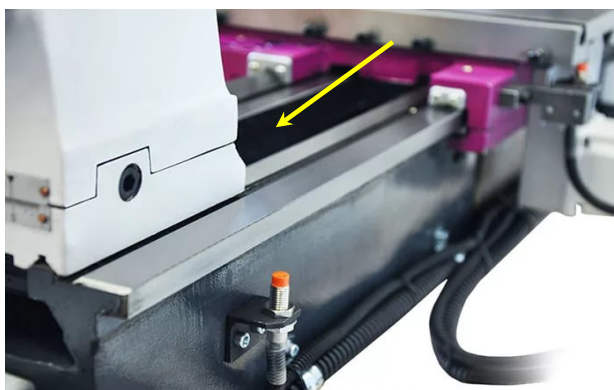


Рис. 1. Пример установки индуктивного датчика перемещения на станке платформе Fanuc

У преобразователей с малым воздушным зазором x , величина которого изменяется при перемещении элемента магнитопровода, изменяется магнитное сопротивление магнитной цепи, и поэтому изменяется индуктивность и добротность катушки. Во многом это зависит от «стерильности» при монтаже оборудования (рис. 2), правильности стыковки основных узлов, минимизации статического электричества, запыленности поверхности, влажности вблизи оборудования.

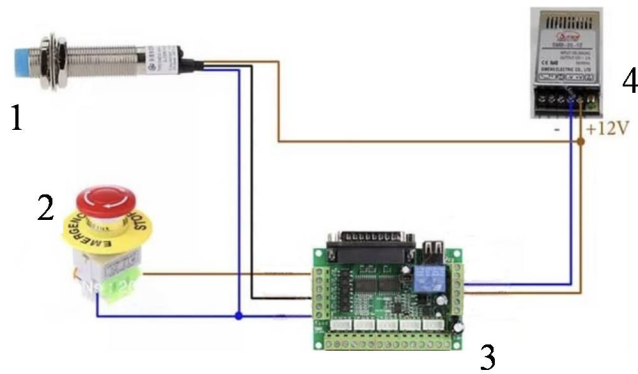


Рис. 2. Схема подключения индуктивного датчика перемещения:
 1 – датчик перемещения; 2 – кнопка экстренной остановки;
 3 – устройство записи и вывода данных; 4 – блок питания

Рассмотрим принципиальную схему разработанной установки для исследования работы датчиков перемещения (рис. 3) и конструкцию чувствительного элемента индуктивного датчика (рис. 4).

Индуктивный датчик перемещений представляет собой устройство, осуществляющее преобразование информации об изменении физических величин (линейное расстояние до объекта) в соответствующее изменение выходного напряжения. Он состоит из чувствительного элемента – катушки индуктивности с установленным в ней ферромагнитным сердечником, который может иметь различную форму (рис. 4) (половина ферритового кольца, броневой ферритовый сердечник), и преобразователя, осуществляющего прием, преобразование и выдачу измерительной информации с катушки индуктивности.

Чувствительный элемент (датчик) (рис. 4) представляет собой катушку индуктивности, параллельно соединенную с конденсатором, и образует вместе с ним колебательный контур.

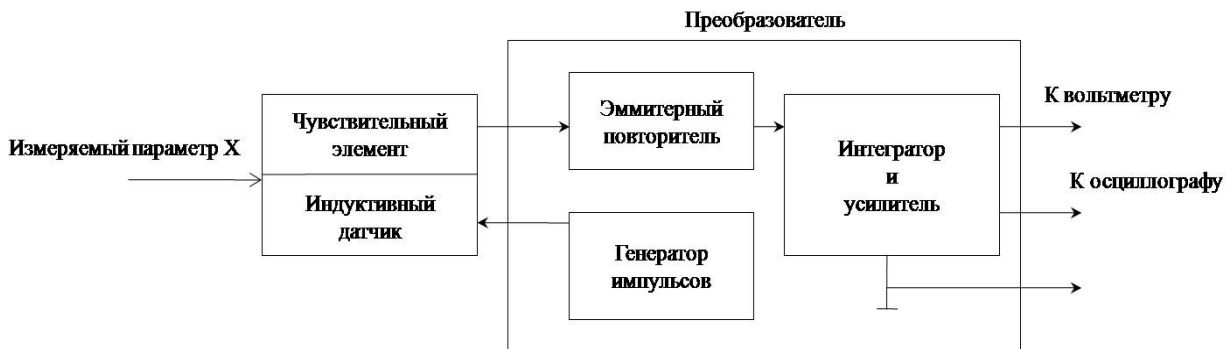


Рис. 3. Структурная схема индуктивного датчика перемещений

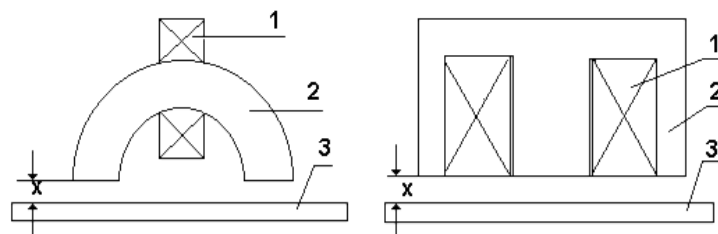


Рис. 4. Конструкция чувствительного элемента индуктивного датчика:
 1 – обмотка; 2 – ферритовый сердечник; 3 – основание (движущийся объект)

Преобразователь выполняет генерацию импульсного напряжения, обработку сигнала, полученного с колебательного контура, его усиление и индикацию.

Лабораторной установкой является измерительный штатив (рис. 5), в который устанавливаются различные индуктивные датчики. Он состоит из преобразователя, индуктивных датчиков, ме-

таллической пластины (подвижный элемент магнитопровода), зажимающего винта, ручки бокового перемещения, клемм для подключения, мультиметра Voltcraft MXD-4660 и осциллографа С1-55 и в целом представляет собой установку ИД-3 (рис. 5).

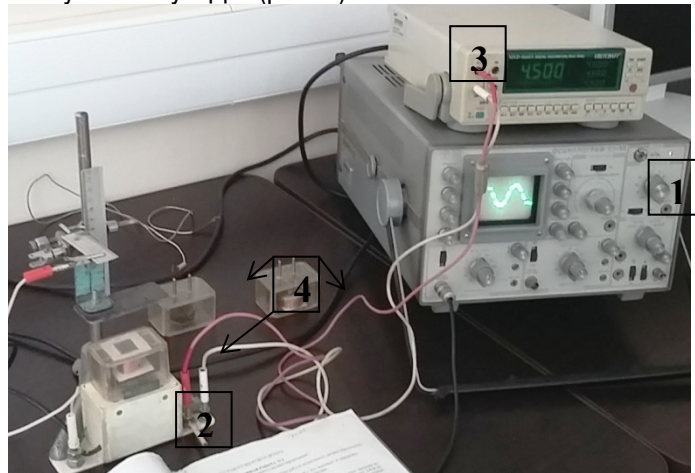


Рис. 5. Используемая установка ИД-3:

1 – осциллограф С1-55; 2 – измерительный штатив с подвижным элементом магнитопровода;
3 – мультиметр Voltcraft MXD-4660; 4 – набор катушек индуктивности в пластиковом корпусе с вилкой

Исследуемые индуктивности и активные сопротивления катушек датчиков:

N1 – $L = 107$ мГн, $R_1 = 35,5$ Ом;

N2 – $L = 17,8$ мГн, $R_2 = 12,5$ Ом;

N3 – $L = 18,0$ мГн; $R_3 = 12,6$ Ом;

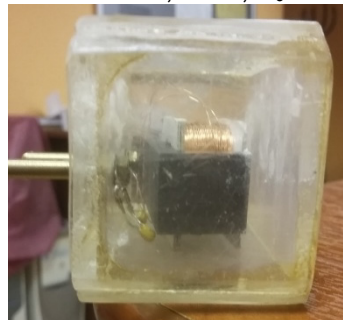


Рис. 6. Катушка индуктивности в пластиковом корпусе и с вилкой

Рассмотрим природу индуктивности L катушки (рис. 6):

$$L = \frac{\omega^2}{Z_M}$$

$$Z = R + j\omega \frac{\omega^2}{Z_M},$$

где ω – число витков катушки, Z_M – полное сопротивление магнитной цепи. Изменение индуктивного сопротивления катушки ведет к изменению ее полного сопротивления Z .

Полное сопротивление Z катушки определяется выражением, где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота колебаний. R – активное сопротивление катушки постоянному току, Z_M можно представить как

$$Z_M = R_{\text{мст}} + R_x, \quad R_x = \frac{x}{\mu_0 S},$$

где $R_{\text{мст}}$ – магнитное сопротивление участков из стали, где R_x – магнитное сопротивление воздушного зазора, x – воздушный зазор, $\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6}$ Гн/м – магнитная проницаемость воздушного зазора, S – площадь воздушного зазора. Таким образом, важным и наиболее применимым к измерению является воздушный зазор R_x , который необходимо исследовать на установке. В результате

исследования три катушки поочередно были вставлены в штатив (рис. 7), который, в свою очередь, соединялся с мультиметром и осциллографом. Движения проводились через каждые 2 мм.

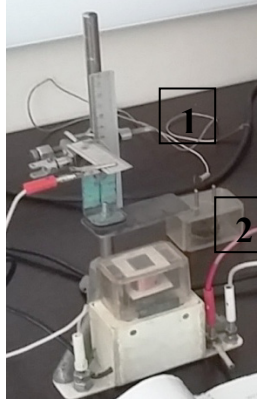


Рис. 7. Штатив с катушками индуктивности: 1 – система движения по оси X и Y; 2 – металлическая пластина – имитатор обрабатываемой заготовки на станке ЧПУ

Результаты проведенных измерений были помещены в таблицу.

Результаты измерений напряжения на выходе интегратора

Катушка № 1		Катушка № 2		Катушка № 3	
X, мм	U, мВ	X, мм	U, мВ	X, мм	U, мВ
0	1631	0	1725	0	1920
2	2098	2	1953	2	2403
4	2737	4	2428	4	3065
6	3460	6	2877	6	3615
8	4152	8	3115	8	3940
10	4863	10	3378	10	4151
15	6079	15	3907	15	4443
20	6824	20	4177	20	4542
25	7222	25	4319	25	4585
30	7435	30	4396	30	4602
35	7550	35	4433	35	4610
40	7616	40	4460	40	4613
45	7655	45	4471	45	4613
50	7677	50	4478	50	4613

По данным таблицы были построены графики функции преобразования по результатам измерений напряжений на выходе интегратора (рис. 8–10).

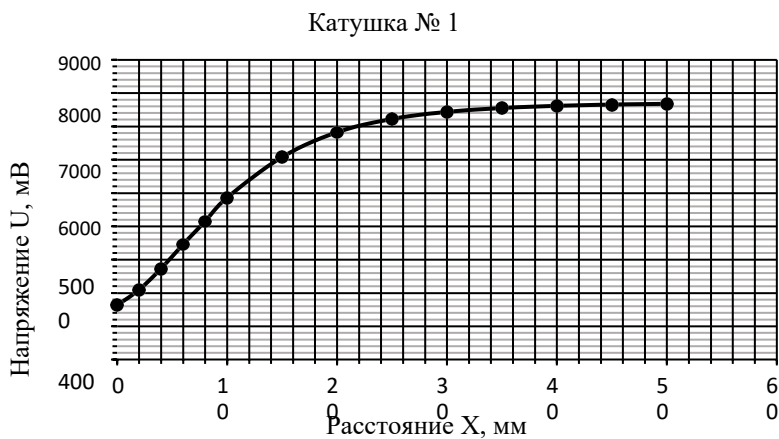


Рис. 8. График функции преобразования для датчика с катушкой № 1

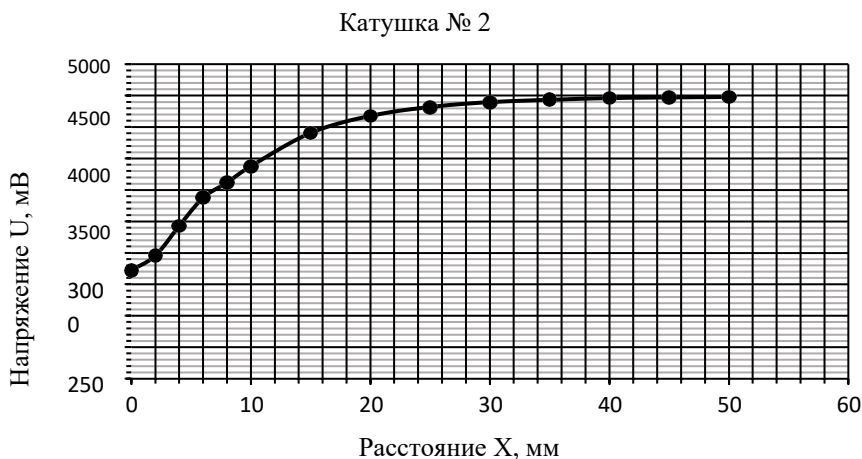


Рис. 9. График функции преобразования для датчика с катушкой № 2

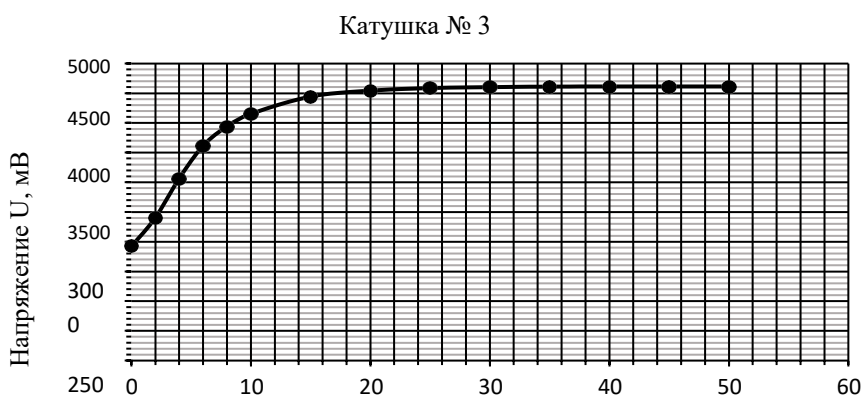


Рис. 10. График функции преобразования для датчика с катушкой № 3

Данные исследования позволяют сделать вывод о том, что катушка № 1 с параметрами $N1 - L = 107$ мГн, $R_1 = 35,5$ Ом является наиболее чувствительной на очень узком интервале – от 1 до 5 мм, однако катушки № 2 и 3 могут обеспечивать более широкий диапазон измерений – до 50 мм, что также является ценным свойством для системы измерительных преобразователей. В процессе изготовления катушки индуктивности были использованы разные методы намотки медной проволоки на сердечник, что, безусловно, могло привести к изменению диапазона измерений.

Библиографический список

1. Раннев, Г. Г. Методы и средства измерений / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. М.: АСАДЕМА, 2003.
2. Туричин, А. М. Электрические измерения неэлектрических величин / А. М. Туричин. М., 1954.
3. Карцев, Е. А. Измерительные преобразователи / Е. А. Карцев. М.: МИЭМ, 1986.
4. Левшина, Е. С. Измерительные преобразователи / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
5. Бриндли, К. Измерительные преобразователи / К. Бриндли. М.: Энергоатомиздат, 1991. 144 с.

6. Гальваномагнитные преобразователи в измерительной технике / В. В. Брайко и др. М.: Энергоатомиздат, 1984. 360 с.

7. *Дубовой, Н. Д.* Автоматические многофункциональные измерительные преобразователи / Н. Д. Дубовой. М.: Радио и связь, 1989. 256 с.

8. *Нуберт, Г. П.* Измерительные преобразователи неэлектрических величин / Г. П. Нуберт. М.: Энергия, 2009. 360 с.

9. *Топильский, В. Б.* Микроэлектронные измерительные преобразователи / В. Б. Топильский. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2012. 496 с.

УДК 621

А. А. Ямщиков, В. К. Будзиньскистуденты кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности**К. В. Епифанцев**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ШУМОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Электрическими шумами называют беспорядочные изменения тока и напряжения в электронных приборах. Именно электрические шумы определяют в электронике пределы точности измерений, а также минимальные величины сигналов, которые могут быть обработаны.

Проблематикой темы является сложность в ориентировании и понимании механик конкретных видов электрических шумов. В научной литературе встречаются десятки названий видов электрических шумов. Чтобы ориентироваться в таком многообразии видов, необходимо в каждом случае уметь четко определить, по какому признаку проводится классификация. Однако из-за неоднозначности терминологии сделать это не всегда просто, поэтому актуальной задачей является проведение обзора основных подходов к классификации электрических шумов.

Исследование является как никогда актуальным ввиду повсеместного использования ЭВМ и в целом высоких темпов развития электроники в будущей перспективе на несколько десятилетий. Также стоит отметить, что количество методов снижения шумов в устройствах и повышения их помехоустойчивости становится больше, чем самих шумов и видов помех, а данная работа позволяет лучше понимать механику их действия.

Целью данной работы стали выявление и анализ основных подходов к классификации внутренних электрических шумов в электронных полупроводниковых приборах. С этой целью был проведен анализ ряда литературы, в результате которого было выделено четыре основных подхода, применяемых при классификации шумов в полупроводниках. Сформулируем сущность каждого из этих подходов.

Классификация по физической природе и механизму возникновения. С точки зрения физической природы выделяют тепловой шум (шум Джонсона); дробовой шум; фликкер-шум (шум мерцания, избыточный шум, шум типа $1/f$).

Тепловой шум обусловлен хаотическим движением носителей тока и присутствует в любом элементе при ненулевой абсолютной температуре. Тепловой шум является неуменьшаемым видом шума.

Дробовой шум наблюдается при дрейфе носителей тока под действием приложенного к полупроводнику электрического поля и обусловлен дискретностью электрического заряда, а также хаотичностью процессов генерации-рекомбинации основных носителей заряда в полупроводнике.

Фликкер-шум наблюдается при прохождении через полупроводник постоянного тока, обусловлен флуктуациями плотности носителей тока и может значительно превышать уровень теплового и дробового шума. В изученных источниках высказывается мнение, что названия «дробовой шум» и «фликкер-шум» были введены на более или менее эвристической основе без должной связи с физическими причинами, порождающими шум, и предлагается деление на шум генерации-рекомбинации, диффузионный шум и модуляционный шум как в большей степени соответствующее физическим процессам, происходящим внутри полупроводника.

Классификация по поведению спектральной плотности и плотности вероятности. На основе спектрального и вероятностного анализа выделяют белый/цветной шум, узкополосный/широкополосный шум, гауссовский шум, розовый шум.

Белый шум – это шум, в спектре которого энергия равномерно распределена по всем частотам, как в спектре белого света. Гауссовским называется шум, который имеет нулевое среднее значение и гауссову плотность вероятности. Термин «белый шум» относится к распределению энергии,

а термин «гауссовский шум» – к распределению плотности вероятности. Например, тепловой шум является еще и гауссовским белым шумом, а дробовой шум является белым в области нижних частот.

Розовым шумом называется шум, спектральная плотность которого описывается законом вида $1/f$ (f -частота). Шум со спектром вида $1/f$ называется еще фликкер-шумом, но если термин «розовый шум» относится только к виду спектра, то термин «фликкер-шум» относится также к физической природе шума.

Классификация с точки зрения теории случайных процессов. Шумы являются случайными процессами, и к ним применяется классификация случайных процессов. В рассмотренной литературе чаще всего упоминается стационарность и эргодичность шумов. Многие шумы в полупроводниковых материалах и приборах (тепловой, дробовой, генерации-рекомбинации, диффузионный и др.) можно рассматривать как стационарные и эргодические процессы. Но есть и исключения, например, фликкер-шум не является стационарным процессом.

Классификация по внешнему проявлению. В работах по снижению шумов генераторов электрических сигналов три рассмотренных ранее способа классификации применяются редко. Вместо этого используется классификация электрических шумов по внешнему проявлению с выделением амплитудного, частотного и фазового шумов, под которыми подразумевают, соответственно, беспорядочные изменения амплитуды, частоты и фазы сигнала. Поскольку любому изменению частоты сопутствует изменение фазы, часто наряду с амплитудным рассматривают только частотный или только фазовый шум.

При помощи электронного пакета среды программирование NI LabVIEW для более наглядного примера работы создадим макет генератора шума с применением гауссовского шума с нормальным и равномерным распределением сигнала на выходе, а также встроенную возможность вычисления статистических характеристик сигнала.

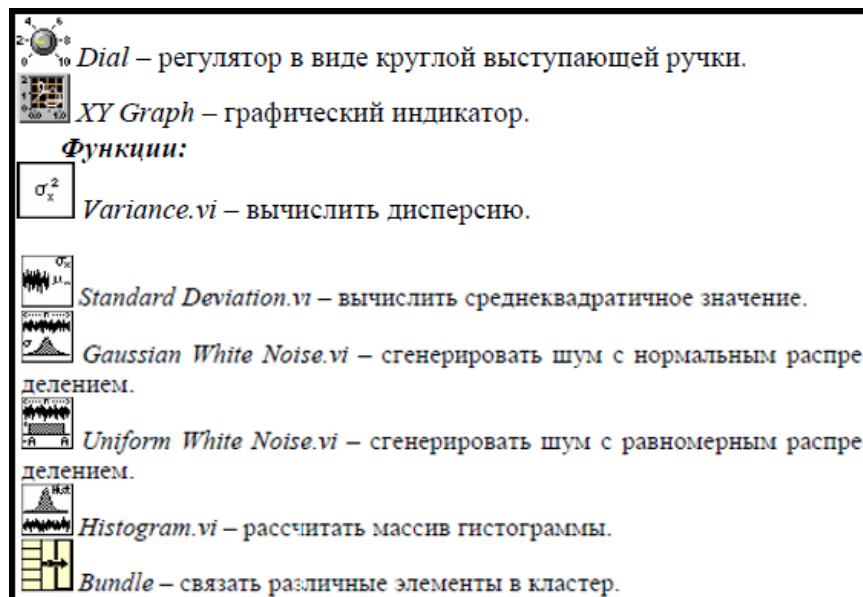


Рис. 1. Основные используемые органы управления макета

Генератор шума – это специальное устройство, предназначенное для защиты от возможного прослушивания беспроводными микрофонами и диктофонами. Генераторы создают белый шум, который не дает возможности прослушивающим устройствам обрабатывать полученную информацию. При включении генератора шума не могут осуществлять работу беспроводные и проводные микрофоны, диктофоны как цифровые, так и оснащенные миникассетами, стетоскопы и лазерные приборы для считывания информации.

Генераторы создают специальные сигналы в виде шумов и помех. Такие сигналы способны заглушить различные звуки в своих диапазонах, это способствует тому, что на записывающих устройствах сохраняется некачественная информация, которую очень сложно обработать и распо-

знать. Таким образом, при включенном генераторе происходит скремблирование данных. Основная суть данной методики заключается в том, что информация, которая передается по телефонной линии, сначала шифруется, а затем дешифруется.

В качестве примера можно привести скремблеры, которые являются разновидностью генераторов шума. Они часто устанавливаются в крупных корпорациях, единственным неудобством данных устройств считается то, что их нужно устанавливать у каждого сотрудника.

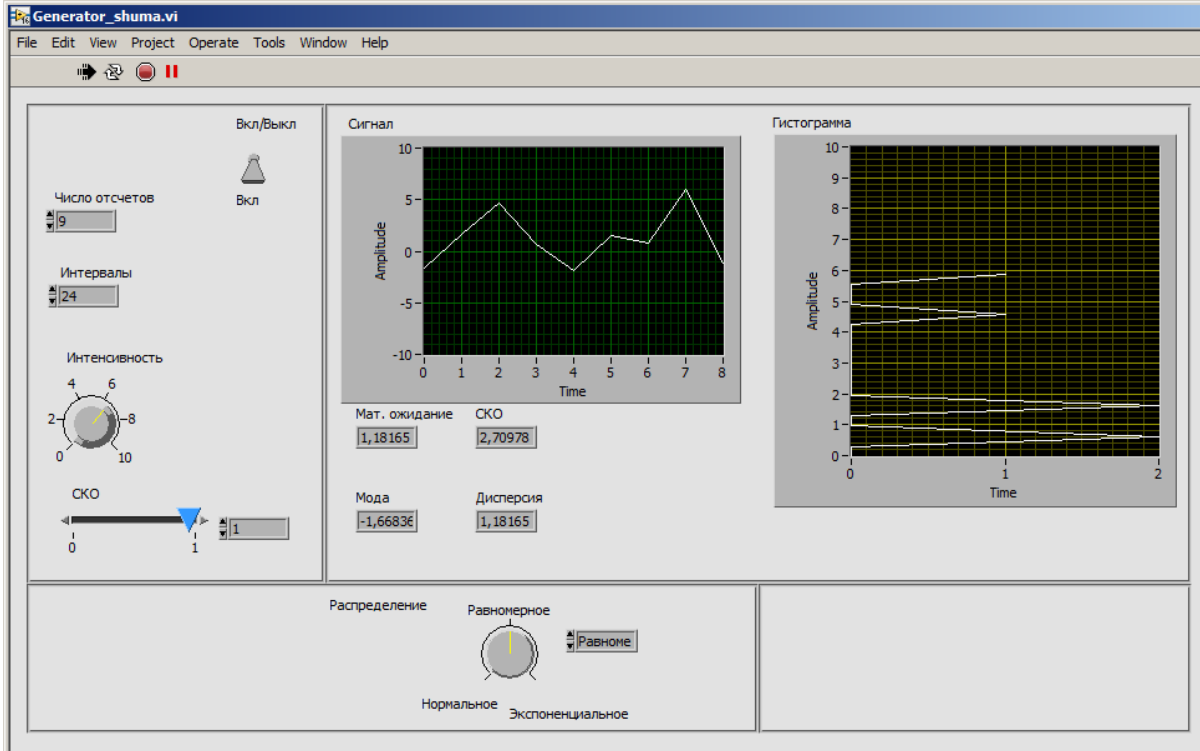


Рис. 2. Скриншот лицевой панели разработанного генератора шума

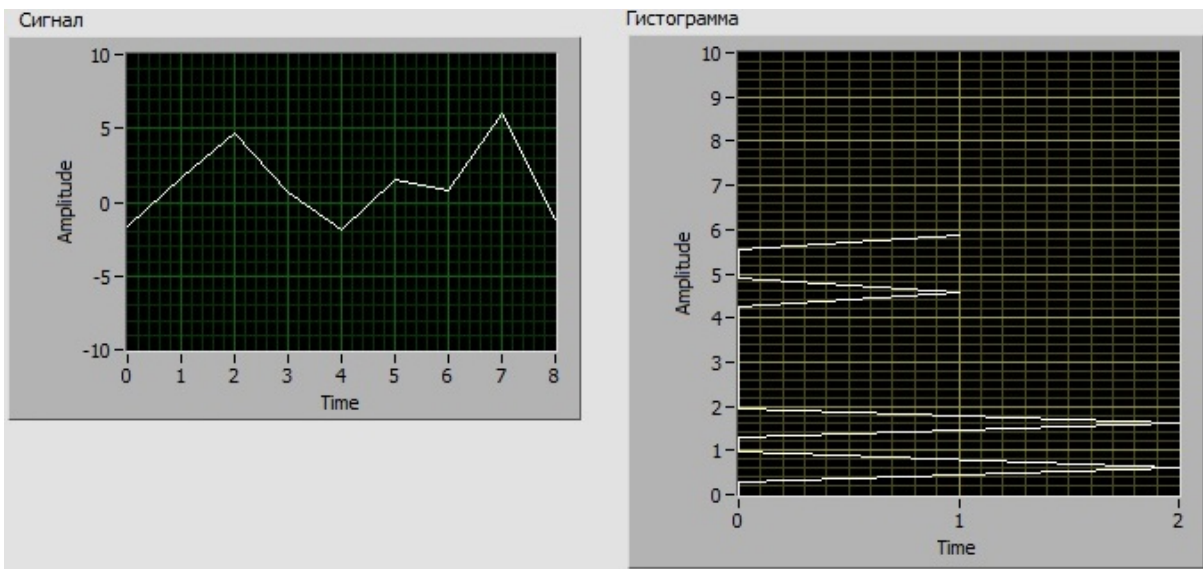


Рис. 3. Блоки диаграмм формы выходного сигнала и гистограммы случайного процесса

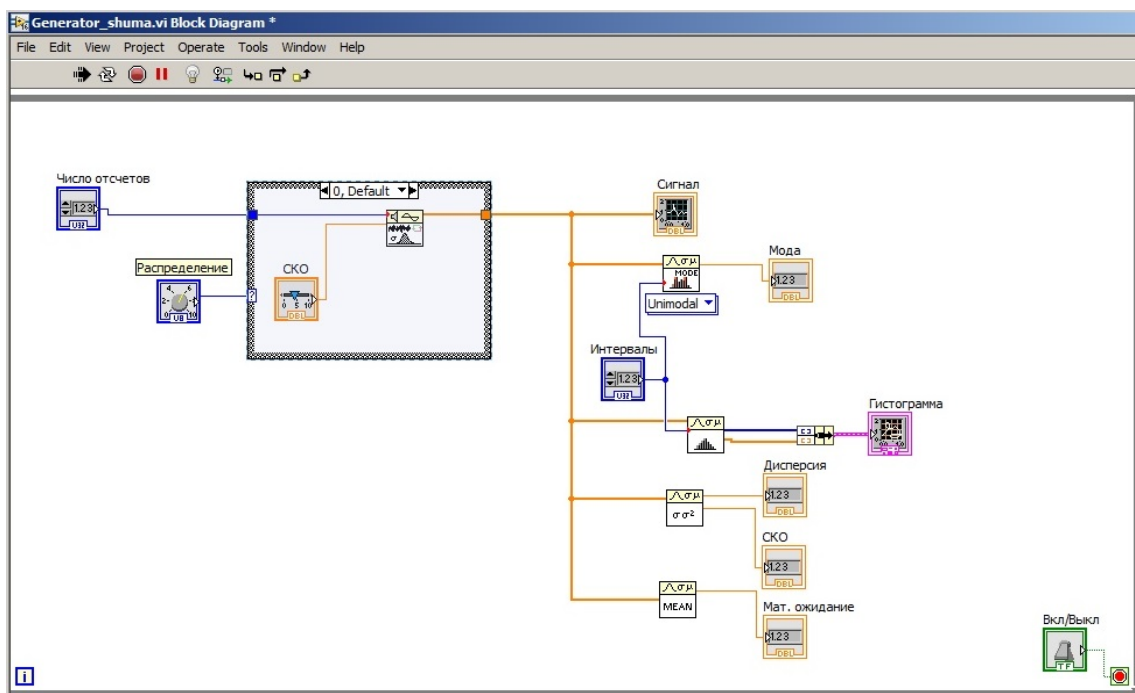


Рис. 4. Скриншот блок-диаграммы разработанного генератора шума

Генераторы шума обладают многими возможностями, их можно установить внутри помещения и снаружи. Также они не излучают электромагнитные волны, а значит, не оказывают вреда на здоровье человека. Генераторы шума используют также в радиоэлектронике, с их помощью определяют коэффициент шума и предельной чувствительности радиоприемников. Генераторы шума получили широкое распространение в акустике, их используют для маскировки звуков, в измерительных устройствах, применяют в качестве калибровочного источника мощности при измерении атмосферных помех, шумов, имеющих внеземное происхождение. Также в аудиоаппаратуре используют генератор розового шума. Равномерно спадающая спектральная плотность розового шума позволяет легко и быстро выявлять любые аномалии в громкоговорителях, комнатной акустике или разделительных фильтрах.

Реальным аналогом генератора шума можно привести генератор шума ГШ-1000М, предназначенный для маскировки информативных побочных электромагнитных излучений и наводок персональных компьютеров, рабочих станций компьютерных сетей и комплексов на объектах вычислительной техники путем формирования и излучения в окружающее пространство электромагнитного поля шума в широком диапазоне частот. Один генератор обеспечивает маскировку до 40 м².



Рис. 5. Внешний вид генератора шума ГШ-1000М

Проведенный анализ показал, что в научной литературе существуют четыре основных подхода к классификации электрических шумов в полупроводниках:

- 1) классификация по физической природе и механизму возникновения;
- 2) классификация по поведению спектральной плотности и плотности вероятности;
- 3) классификация с точки зрения теории случайных процессов;
- 4) классификация по внешнему проявлению.

В случаях когда предметом исследования являются сами шумы и причины их возникновения, используют классификации по первым трем признакам. В случаях когда предметом исследования является снижение уровня шумов в электронных приборах, используют классификацию шумов по внешнему проявлению.

Созданный макет наглядно показывает работу генератора шума с нормальным и равномерным распределением сигнала на выходе.

Был проанализирован принцип работы генератора шума, его применение в различных сферах деятельности, рассмотрены реальные аналоги.

Проведенный анализ основных подходов и классификации электрических шумов позволит лучше ориентироваться в терминологии, понимании работы и происхождения шумов, а актуальность этой темы будет только возрастать ввиду развития информационных технологий и Интернета, а также повсеместного применения аудио- и радиоаппаратуры, где важна чистота сигнала.

Библиографический список

1. *Ван дер Зил, А.* Шум. Источники, описание, измерение / А. Ван дер Зил. М.: Сов. радио, 1973. 229 с.
2. *Ван дер Зил, А.* Флуктуационные явления в полупроводниках / А. Ван дер Зил. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 232 с.
3. *Хоровиц, П.* Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. М.: Мир, 2003. 704 с.
4. Шумы в электронных приборах / Под ред. Л. Д. Смуллина, Г. А. Хауса. М.; Л.: Энергия, 1964. 484 с.
5. *Корнилов, С. А.* Шумы клистронных генераторов малой мощности / С. А. Корнилов, В. А. Савшинский, С. Д. Уман. М.: Сов. радио, 1972.
6. *Голант, М. Б.* Генераторы СВЧ малой мощности: вопросы оптимизации параметров / М. Б. Голант, Ю. Л. Бобровский. М.: Сов. радио, 1977. 336 с.
7. *Букингом, М.* Шумы в электронных приборах и системах / М. Букингом. М.: Мир, 1986. 398 с.
8. *Гусев, А. П.* Экспериментальное исследование высокочастотных кварцевых генераторов / А. П. Гусев, З. Ф. Каплун // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1989. Вып. 9. С. 14–17.
9. *Ри Бак Сон.* Исследование низкочастотного автогенератора СВЧ // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1983. Вып. 5. С. 26–27.
10. *Тетерич, Н. М.* Генераторы шума и измерение шумовых характеристик / Н. М. Тетерич. М.: Энергия, 1968. 216 с.

УДК 620

А. Ю. Данченко

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

В. Ш. Сулаберидзе

доктор технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТЕНДА МЕГЕОН-03000

Полимерные материалы – важный класс современных материалов, которые широко используются во всех технических отраслях и имеют возможность регулирования состава и свойств. Основными преимуществами таких материалов является низкая стоимость, высокая производительность, минимальная энергоемкость и малоотходность.

Целью работы является анализ возможностей стенда МЕГЕОН-03000 для исследований прочности при разрыве и модуля упругости при сжатии композиционных материалов на основе полимерных связующих и мелкодисперсных наполнителей.

СКТН А – низкомолекулярная диметилсилоксановая жидкость, стабилизированная активной окисью кремния и отверждаемая катализаторами холодного отверждения [1]. СКТН А применяется для изготовления резиноподобных покрытий, различных композиций резин, термо-, электро- и виброизолирующей герметизации различных устройств. Материалы, изготавливаемые на основе СКТН А, обладают значительной эластичностью, упругостью, прочностью, а также высокими диэлектрическими свойствами.

Полиуретан – это синтетический полимерный материал, который входит в группу полиэфирполиолов, его свойства и технические характеристики зависят от молекулярной структуры. Его основу составляют два типа сырья: полиол и изоцианат. Также полиуретан является эластомером – материалом, который после растяжения возвращается в исходное состояние. Полимерный материал имеет очень широкую и многообразную сферу применения: его используют в различных формах, как правило, это листовый материал, жидкий или в виде пенополиуретана.

МЕГЕОН-03000 – это простой и удобный испытательный стенд с ручным управлением, использующий прецизионный шариковый винт и линейно направленный привод, имеющий закрытую прочную конструкцию (рис. 1).



Рис. 1. Испытательный стенд МЕГЕОН-03000

Максимальная нагрузка – 100 кг (1000 Н). Погрешность измерений не превышает 0,5%. Прибор может осуществлять различные типы нагружений, такие как растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг. Рабочая температура при испытаниях 5–35 °С; допустимая температура –10...+60 °С; относительная влажность 15–80% [2].

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Прочность на разрыв T , выраженная в ньютонах на квадратный миллиметр, рассчитывается по формуле

$$T = N/S, \quad (1)$$

где N – сила, при которой происходит разрыв, Н; S – площадь поперечного сечения, мм².

Площадь поперечного сечения вычисляют по формуле

$$S = h \cdot \delta, \quad (2)$$

где h – высота образца, мм; δ – ширина образца, мм.

Коэффициент упругости k , выраженный в ньютонах на миллиметр, находится по формуле

$$k = N/\Delta l, \quad (3)$$

где N – сила, при которой происходит разрыв, Н; Δl – удлинение образца при разрыве, мм.

Модуль Юнга E , выраженный в мегапаскалях, вычисляется по формуле

$$E = (\Delta F \cdot H_0)/(S_0 \cdot \Delta \delta), \quad (4)$$

где ΔF – изменение силы, с которой происходит сжатие образца, Н; S_0 – площадь поперечного сечения, мм²; H_0 – высота образца, мм; $\Delta \delta$ – толщина образца, мм.

Площадь поперечного сечения рассчитывается по формуле

$$S_0 = (\pi \cdot D^2)/4, \quad (5)$$

где D – диаметр образца.

Коэффициент упругости (Гука), выраженный в ньютонах на миллиметр, находится по формуле

$$k = \Delta F/\Delta \delta. \quad (6)$$

В табл. 1 показаны результаты измерений образцов на испытательном стенде.

Таблица 1

Результаты испытаний на разрыв

№	Образец	L_0 , мм	ΔL , мм	h , мм	δ , мм	N , Н	Содержание наполнителя, масс. %
1	Полиуретан	45,4	19,42	19,2	2,15	31,7	0
2	Полиуретан (2/3) + Кристобалит (1/3)	43,5	19,16	17,5	2,5	129	33,3
3	Полиуретан (1/2) + Кристобалит (1/2)	25,46	9,49	9,25	2,5	182,1	50
4	СКТН А + ПМС (1 : 1)	42	5,23	19,3	1,6	12,6	50
5	СКТН А + ПМС (3 : 7)	43	15,35	19,2	1,4	14,9	30
6	Кварц	43	7,96	21,6	0,86	5,4	20
7	СКТН А + Кварц	44,8	11,36	17,6	1,35	7,5	20
8	СКТН А + Кварц	40,6	11,29	12,4	1,2	8,5	50
9	СКТН А + Кварц	46	15,39	16	3	23,8	40
1	СКТН А + Кварц	43,5	10,29	18,2	3,4	40,4	60

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

В табл. 2 показаны результаты вычислений по формулам (1–3), приведенным ранее.

Таблица 2

Характеристики образцов на разрыв

Образец	S, мм ²	Прочность, МПа	Коеф. упругости, Н/мм	Удл., %
Полиуретан	41,28	0,77	1,63	42,78
Полиуретан (2/3) + Кристобалит (1/3)	43,75	2,95	6,73	44,05
Полиуретан (1/2) + Кристобалит (1/2)	23,13	7,87	19,19	37,27
СКТН А + ПМС (1 : 1)	30,88	0,41	2,41	12,45
СКТН А + ПМС (3 : 7)	26,88	0,55	0,97	35,70
Кварц	18,58	0,29	0,68	18,51
СКТН А + Кварц	23,76	0,32	0,66	25,36
СКТН А + Кварц	14,88	0,57	0,75	27,81
СКТН А + Кварц	48	0,50	1,55	33,46
0 СКТН А + Кварц	61,88	0,65	3,93	23,66

В качестве примера на рис. 2, 3 приведены зависимости прочности и коэффициента упругости от массового содержания наполнителя.

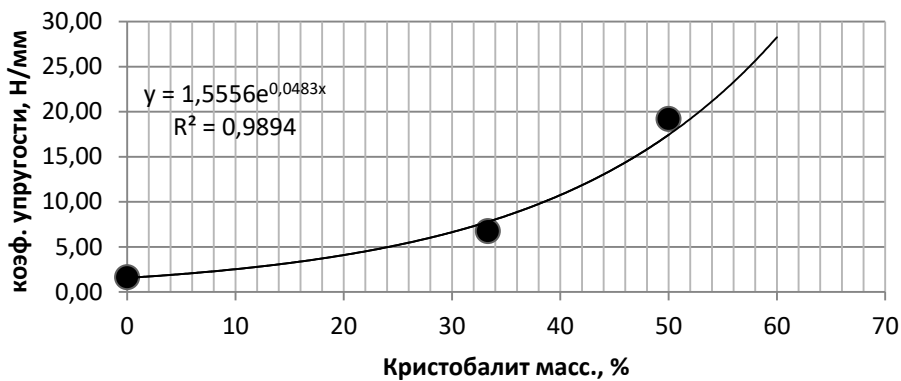


Рис. 2. Зависимость коэффициента упругости материала от массового содержания кристобалита

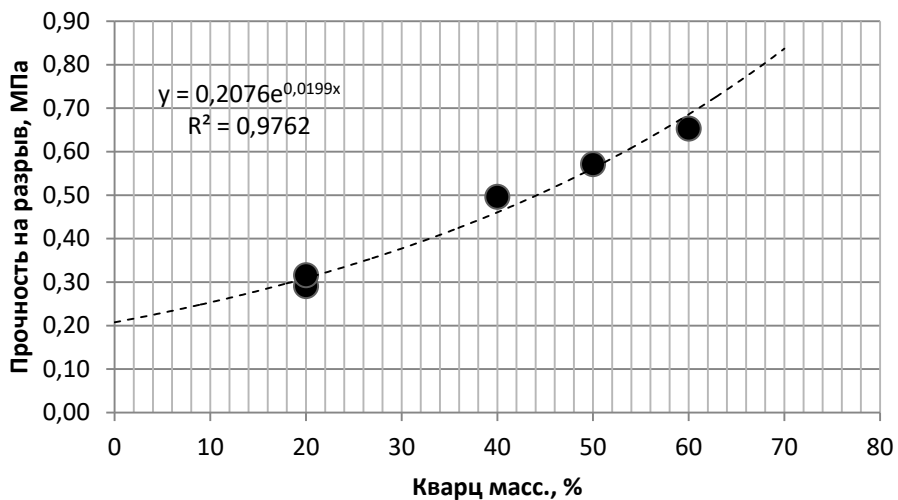


Рис. 3. Зависимость прочности материала от массового содержания кварца

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Также были проведены испытания на сжатие образцов СКТН А + SiO₂, результаты которых представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики образцов на сжатие

Содержание наполнителя, масс. %	D ₀ , мм	H ₀ , мм	ΔF, Н	Δδ, мм	S ₀ , мм ²	E, МПа	k, Н/мм
20	19,5	49	13,45	1,46	298,50	1,51	9,21
50	25	40	23,1	0,92	490,63	2,05	25,11
60	22,5	54,5	55,3	1,66	397,41	4,57	33,31
70	21	47	71	1,58	346,19	6,10	44,94
30	21	50	53,7	2,22	346,19	3,49	24,19

График зависимости Модуля Юнга от массового содержания наполнителя показан на рис. 4. Также построены графики зависимости нагрузки величины деформации при сжатии, примеры которых приведены на рис. 5 и 6.

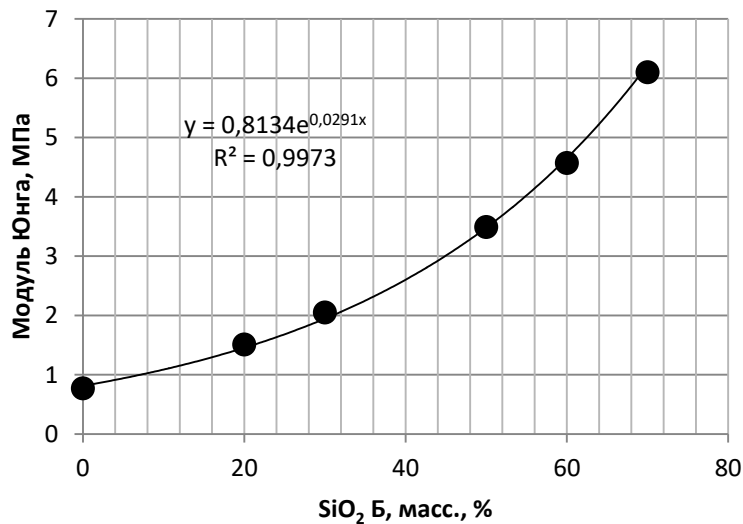


Рис. 4. Зависимость Модуля Юнга от массового содержания SiO₂ Б

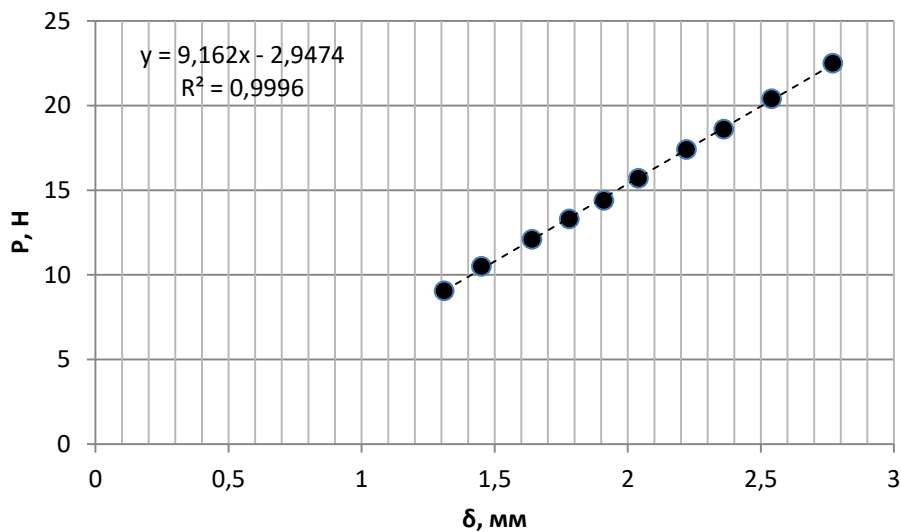


Рис. 5. Зависимость нагрузки от деформации образца с 20%-ным содержанием наполнителя

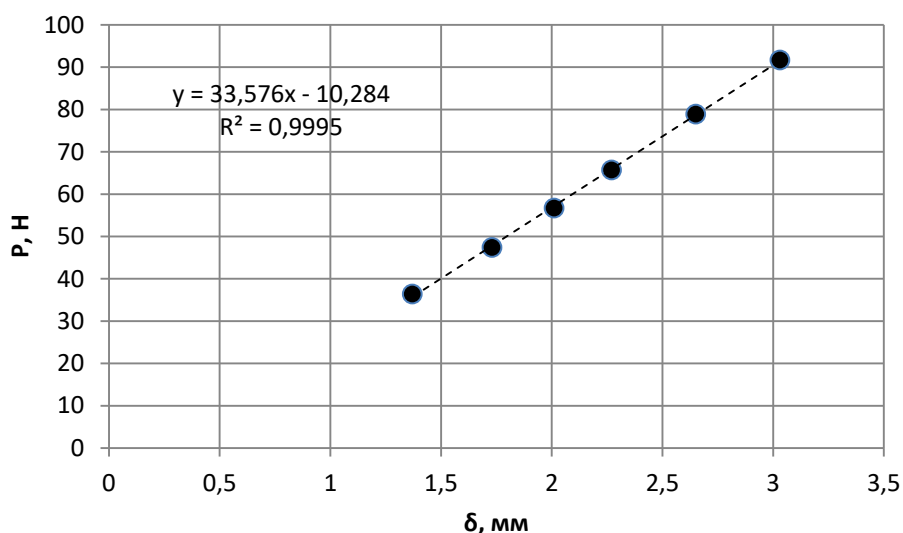


Рис. 6. Зависимость нагрузки от деформации образца с 60%-ным содержанием наполнителя

В результате выполнения работы показаны возможности стенда МEGEОН-03000 по исследованиям характеристик прочности и упругости при разрыве, модуля упругости при сжатии композиционных материалов на основе полимерных связующих и мелкодисперсных наполнителей.

По итогам испытаний получены значения прочности и коэффициента упругости для образцов на основе СКТН А и полиуретана с различными наполнителями, из которых следует, что с увеличением массового содержания различных наполнителей, например таких, как кварц или кристобалит, возрастает уровень прочности образцов (рис. 3), а также коэффициент упругости, что можно увидеть на приведенном графике (рис. 2).

Библиографический список

1. ГОСТ 13835-73. Каучук синтетический термостойкий низкомолекулярный СКТН. Технические условия. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-13835-73> (дата обращения: 24.04.2019).

2. Руководство по эксплуатации «MEГEОН. Динамометры цифровые сжатия и растяжения серии MEГEОН-03XXX».

УДК 615.074

А. В. Деева

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

С. А. Назаревич

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РОЛЬ МЕТРОЛОГИИ В КЛИНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКЕ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА

Ионизационные методы, такие как ESI (ионизация распылением в электрическом поле) и MALDI (матричная лазерная десорбционная ионизация), давно применяются в масс-спектрометрии для исследования лабильных органических веществ и больших природных биомолекул, многокомпонентного анализа сложных смесей органических веществ, в том числе установления строения больших органических молекул, таких как витамины, мономеры, олигомеры и полимеры, последовательности нуклеотидов и нуклеозидов.

В то же время существует определенное сомнение в достаточно новом аналитическом методе ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой), хотя он и имеет ряд преимуществ: отличается высокой чувствительностью и способностью определять металлы, полуметаллы и неметаллы в органических веществах, синтезируемых живыми организмами в концентрациях до 10–10%, т.е. одну частицу из 10¹².

Фактически масс-спектрометрические методы являются взаимодополняющими. Методы атомной спектрометрии, такие как ICP-MS, обеспечивают одновременный многоэлементный анализ и хорошо подходят для конкретных задач элементного анализа (определение до 20–25 элементов в жидких образцах), в том числе для массового скрининга и мониторинга. Метод охватывает практически все молекулярные и валентные формы элементов, включая трудные и невозможные для других методов анализа (Se, Cr, I, Po, Tc, U, Pu и т.д.).

Чувствительность метода зависит не только от физико-химических свойств объектов, но и от применяемой методики лазерной абляции. Во время этапа ионизации полностью теряется возможность определить структуру и молекулярную массу вещества, поэтому эти характеристики определяются с помощью масс-спектрометрии биомолекул, в частности ESI- и MALDI-MS, которые применяются для точного количественного определения, а также быстрого скрининга конкретных элементов в образцах.

В настоящее время в различных областях науки и жизни существуют проблемы, которые смогут быть решены в будущем только комбинированием элементных и биомолекулярных масс-спектрометрических методов. Металлопротеины, которые составляют около 30% от общего протеома, являются важными маркерами различия между здоровым и больным состояниями человека. Такие металлопротеины, как гемоглобин (HGB), трансферрин (TRF), супероксиддисмутаза (SOD) или церулоплазмин (CER), могут служить маркерами для синдрома Дауна, воспалительных или дефицитных заболеваний. Уровень ионов металлов в организме, таких как железо, цинк, медь, алюминий и свинец, также может быть прямой или косвенной причиной развития заболеваний.

В 2015 г. во всем мире насчитывалось 47 млн человек с деменцией. При этом болезнь Альцгеймера (БА) является причиной деменции в 70% случаев. Одними из биомаркеров БА являются уровни амилоидных пептидов (A1-42, A1-40), тау-белка, гиперфосфорилированного тау-белка и их соотношение в спинномозговой жидкости. Поскольку эти белки также образуются во время нормального старения, необходимо установить пороговые значения, чтобы различать здоровых и больных людей, ведь лечение БА является наиболее успешным на бессимптомной стадии.

Эти биомаркеры обычно определяют с помощью иммунологического анализа или оптических методов, как следствие, вариабельность между лабораториями в настоящее время составляет до 25%, что препятствует установлению универсальных пороговых значений, подходящих для проведения различия между здоровыми и больными людьми на ранних стадиях БА, а также сопостави-

мости между различными лабораториями. Обеспечение сопоставимости, прослеживаемости и достоверности результатов определения установленных и новых биомаркеров в биологических образцах невозможно без разработки методики измерения с результатами, которые могут отслеживаться в Международной системе единиц (СИ).

Метрологические службы играют важную роль в прослеживаемости результатов измерений, поскольку полученные ими референсные значения могут использоваться для работы обычных клинических лабораторий, делая результаты измерений лабораторных служб более достоверными. Такой подход обеспечит основу для установления универсальных референсных значений для диагностики заболеваний, что сделает ненужным создание контрольных групп и определение собственного предельного значения для каждой лаборатории.

ГОСТ ISO 17511-2011 «Изделия медицинские для диагностики *in vitro*. Измерение величин в биологических пробах» требует обеспечения метрологической прослеживаемости значений, приписанных калибраторам и контрольным материалам, предназначенным для установления или подтверждения правильности измерений, однако в настоящее время не существует референтных и рутинных методик выполнения измерения металлов, металлопротеинов и биомаркеров в человеческих пробах и подходящих стандартных образцов для данных величин. Использование масс-спектрометрических методов позволит обеспечить выполнение требований не только ГОСТ ISO 17511-2011, но и других международных стандартов, например Регламента (ЕС) о медицинских изделиях для диагностики *in vitro* 2017/746, в котором указано, что прослеживаемость значений, приписанных калибраторам и(или) контрольным материалам, должна обеспечиваться с помощью доступных процедур эталонных измерений и(или) доступных справочных материалов.

Поскольку риск заболеть болезнью Альцгеймера увеличивается с возрастом, а люди стремятся жить дольше, ожидается, что в течение следующих 20 лет число пациентов с деменцией возрастет до 90 млн человек. Во всем мире за 2015 г. траты систем здравоохранения, связанные с деменцией, составили 818 млрд долл. США. Создание методики выполнения референтного и рутинного измерений биомаркеров БА позволит осуществлять раннюю диагностику и вмешательство, что приведет к отсроченному появлению серьезных нарушений, требующих госпитализации и постоянного ухода. Наряду с улучшением качества жизни как пациентов, так и их семей, отсроченная госпитализация позволит сэкономить около 10 000 долл. США на человека с деменцией в течение заболевания.

Библиографический список

1. ГОСТ ISO 17511-2011. Изделия медицинские для диагностики *in vitro*. Измерение величин в биологических пробах. Метрологическая прослеживаемость значений, приписанных калибраторам и контрольным материалам. М.: Стандартинформ, 2013.
2. *Jakubowski, N.* Update on the Status of Metrology for Metalloproteins / N. Jakubowski, C. Swart // *J. Anal. At. Spectrom.* 2016. No 31. P. 1756–1765.
3. *Jakubowski, N.* The synergy of elemental and biomolecular mass spectrometry: New analytical strategies in life sciences / N. Jakubowski, S. J. Becker // *Chem. Soc. Rev.* 2009. No 38. P. 1969–1983.
4. *Клюев, Н. А.* Современные методы масс-спектрометрического анализа органических соединений / Н. А. Клюев, Е. С. Бродский // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева).* 2002. Т. XLVI. № 4. С. 57–63.

УДК 620

В. А. Пахомов

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности

С. А. Назаревич

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ISO 9001-2015 И ISO/IEC 17025-2017
ПРИ АККРЕДИТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ
В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

Для правильного функционирования и выдачи качественного конечного продукта испытательная лаборатория должна пройти аккредитацию на соответствие международному стандарту ISO/IEC 17025, что позволяет лаборатории проводить испытания любых продуктов, материалов, компонентов, систем, поскольку будет признано, что она имеет в наличии специальные технические возможности.

Деятельность лабораторий, соответствующих требованиям данного документа, будет, как правило, также соответствовать принципам ISO 9001 [1].

Результаты анализа соответствия критериев стандарта ISO/IEC 17025 и ISO 9001 приведены в таблице.

Анализ соответствия критериев стандарта ISO/IEC 17025-2017 и ISO 9001-2015

ISO/ISO 17025:2017	ISO 9001:2015
5.6	7.1.2
6.1	7.1.1; 7.1.2.7; 1.3
6.2.1	7.1.2
6.2.2	7.2
6.2.3	7.2
6.2.4	7.3
6.3.1	7.1.4
6.4.6	7.1.5.2
6.4.7	7.1.5.2
6.4.8	7.1.5.2
6.4.12	7.1.5.2
6.5.1	7.1.5.2
6.5.2	7.1.5.2
6.6.1	8.4.2
6.6.2	8.4.1
6.6.3	8.4.3
7.1.8	4.4.2
7.2.1.2	7.5.3.1; 7.5.3.2
7.2.1.3	7.5.3.2
7.2.2.2	7.5.3.2
7.2.2.4	7.5.1
7.5.1	7.5.2
8.1.1	4.4.1
8.2.1	5.2.1
8.5.1	6.1.1
8.5.2	6.1.2
8.5.3	6.1.2
8.7.1	10.2.1

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

ISO/ISO 17025:2017	ISO 9001:2015
8.7.2	10.2.1
8.7.3	10.2.2
8.8.1	9.2.1
8.8.2	9.2.2
8.9.1	9.3.1
8.9.2	9.3.2
8.9.3	9.3.3

Из таблицы видно, что эти стандарты схожи, хотя и не могут заменять друг друга. Стандарт ISO 9001-2015 определяет требования, касающиеся системы менеджмента качества лаборатории и процессного подхода, в то время как стандарт ISO/IEC 17025-2017 содержит требования технической компетентности, которые отсутствуют в ISO 9001-2015.

Процессный подход подразумевает систематическое определение и управление процессами и их взаимодействиями с тем, чтобы достичь запланированных результатов в соответствии с политикой в области качества и стратегическими направлениями развития организации [2].

Для испытательной лаборатории соответствие системы менеджмента качества требованиям ISO 9001-2015 не может гарантировать способность лаборатории получать технически обоснованные данные и результаты, также как и выполнение требований ISO/IEC 17025-2017 не может являться доказательством соответствия системы менеджмента качества всем требованиям ISO 9001-2015.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Изд-во Стандартиформ, 2015. 15 с.
2. ГОСТ Р ИСО 17025-2017. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. М.: Изд-во Стандартиформ, 2017.

УДК 620

И. М. Салтыков

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности

К. В. Епифанцев

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МОДЕРНИЗАЦИЯ, ПОВЕРКА, КАЛИБРОВКА УСТАНОВКИ МОДЕЛИ БВ-7660 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА ПОДШИПНИКА

Поверкой приборов, используемых для измерения, именуется совокупность нескольких операций, которые осуществляются для подтверждения факта соответствия упомянутых приборов действующим метрологическим требованиям.

Измерительные приборы, используемые в сферах, подпадающих под государственное регулирование, осуществляемое в рамках обеспечения в государственных масштабах единства измерения, подлежат в обязательном порядке периодическим и первичным поверкам [1].

При проведении поверки прибора БВ-7660 должны быть выполнены операции и применены средства, указанные в руководстве по эксплуатации и внутривзаводских документах.

1. Проверка комплектности, маркировки и внешнего вида (ГОСТ-13762).
2. Проверка функционирования.
3. Поверка диапазона и шага дискретности показаний.
4. Поверка основной погрешности и размаха показаний.

Приборы для контроля радиального зазора подшипников модели БВ-7660 (см. рисунок) предназначены для измерений и допускового контроля радиального внутреннего зазора подшипников качения. Область применения – цеха и лаборатории машиностроительных предприятий.

Прибор выполнен в виде стационарного (настольного) устройства и реализует метод Б (по ГОСТ 520-2002) измерения внутреннего радиального зазора подшипников.



Прибор для контроля радиального зазора подшипников модели БВ-7660

Контролируемый подшипник устанавливают на прибор при помощи соответствующей базисной оправки (входит в комплект принадлежностей прибора), подводят к подшипнику измерительные наконечники и нагружающие кронштейны. Устанавливая подшипник в различные угловые положения, к наружному кольцу подшипника поочередно при помощи управляемого оператором рычажно-весового механизма прибора прикладывают направленную вверх и вниз измерительную нагрузку. Радиальные перемещения колец подшипника под действием приложенной нагрузки автоматически измеряются посредством двух индуктивных датчиков, механически связанных с верхним и нижним измерительными наконечниками.

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Группы радиальных зазоров для разных типов подшипников по отечественной системе обозначения

Предусмотренные группы радиальных зазоров у различных видов подшипников	
Обозначение группы зазоров	Обозначение типов подшипников
6, нормальная, 7, 8, 9 (1), (0), (2), (3), (4) 2, нормальная, 3, 4	Шариковые радиальные однорядные без канавок для вставления шариков с отверстием: <ul style="list-style-type: none"> – цилиндрическим – (цилиндрическим) – коническим
<i>Примечание:</i> в скобках приведены обозначения групп контрольных радиальных зазоров по РТМ 37.006.309-80	
2, нормальная, 3, 4, 5 2, нормальная, 3, 4, 5	Шариковые радиальные сферические двухрядные с отверстием: <ul style="list-style-type: none"> – цилиндрическим – коническим
1, 6, 2, 3, 4 0, 5, нормальная, 7, 8, 9	Роликовые радиальные с короткими цилиндрическими роликами, с цилиндрическим отверстием; роликовые радиальные игольчатые с сепаратором: <ul style="list-style-type: none"> – с взаимозаменяемыми деталями – с невзаимозаменяемыми деталями
<i>Примечание:</i> игольчатые радиальные роликовые подшипники, с сепаратором, групп зазоров «0» и «9» изготавливать не допускается	
2, 1, 3, 4 0, 5, 6, 7, 8, 9	Роликовые радиальные с короткими цилиндрическими роликами с коническим отверстием: <ul style="list-style-type: none"> – с взаимозаменяемыми деталями – с невзаимозаменяемыми деталями
<i>Примечание:</i> группа зазоров «0» в условном обозначении подшипника не проставляется	
Нормальная, 2	Роликовые радиальные игольчатые без сепаратора
2, нормальная, 3, 4, 5 1, 2, нормальная, 3, 4, 5	Роликовые радиальные сферические однорядные с отверстием: <ul style="list-style-type: none"> – цилиндрическим – коническим
1, 2, нормальная, 3, 4, 5 1, 2, нормальная, 3, 4, 5	Роликовые радиальные сферические двухрядные с отверстием: <ul style="list-style-type: none"> – цилиндрически – конические
2, нормальная, 3, 4 3, нормальная 3	Шариковые радиально-упорные двухрядные: <ul style="list-style-type: none"> – с неразъемным внутренним кольцом – с разъемным внутренним кольцом

Одним из ключевых моментов надежной работы узлов с вращающимися деталями является подшипник. Являясь опорой, он передает нагрузку от вала на корпус или другие детали, предусмотренные конструкцией. Правильный подбор посадки и рабочего зазора является гарантией надежной работы всего механизма.

По мере усовершенствования механизмов возрастают требования к узлам трения. Воспринимая различные виды нагрузок, подшипники должны обеспечить вращение валов, соосность, обеспечивать смещение в заданных размерах от возникающих усилий продольного и поперечного направлений.

Под начальным (или теоретическим) радиальным зазором понимают зазор подшипника в состоянии поставки. Замеры осуществляются с помощью прибора путем смещения одного из колец подшипника в крайнее его положение под определенной нагрузкой.

Для разных конструктивных групп радиальных подшипников имеются свои группы (ряды) радиальных зазоров. Каждая группа ограничена минимальной и максимальной величинами допустимого радиального зазора и обозначается номером (см. таблицу) [2].

В ходе проведения исследования установки для измерений радиального зазора подшипника выявлены слабые стороны – отсутствие бесперебойного электропитания прибора. Было предложено в комплекте с установкой устанавливать источник бесперебойного питания с целью сохранения информации о совершенных измерениях при возникновении случаев перебоев электроснабжения.

С целью модернизации качества калибровки прибора было предложено использовать профилометр (TR–220), измеряющий шероховатость на оправке, для более точного определения характеристик посадки в системе отверстия и вала. Анализ отклонения от заданной шероховатости ($R_a = 6,3$ мкм) на оправке позволит предупредить возникновение неопределенности при проведении испытаний. В методике поверки многие погрешности были отнесены к дефектам, возникающим внутри кинематической пары «двигатель – оправка». Теперь выявление отклонения от шероховатости может предоставить полный обзор потенциальных погрешностей прибора.

Библиографический список

1. Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. Приказ «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке». 2015.
2. ГОСТ 520-2011. Подшипники качения. Общие технические условия. Межгосударственный технический комитет по стандартизации МТК 307 «Подшипники качения». ООО «НИЦ ЕПК», 2011.

УДК 536.2

Д. В. Соколовстудент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности**В. Ш. Сулаберидзе**

доктор технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В СРЕДЕ LabVIEW

Материалы, используемые в системах обогрева и охлаждения, должны обеспечивать хорошую теплопередачу, а значит, иметь высокую теплопроводность. Материалы, предназначенные для теплоизоляции, а также строительные материалы и изделия, которые применяются для устройства наружных ограждений зданий, должны обладать низкой теплопроводностью. Тепловой контроль с использованием специализированных приборов позволяет оценить теплопроводность количественно. Определение эффективной теплопроводности различных материалов и изделий выполняется при помощи специальных измерителей.

Измерение теплопроводности является активным методом теплового неразрушающего контроля. В процессе измерения исследуемый объект подвергается одностороннему нагреву (создается тепловой поток заданной интенсивности), а с помощью тепломера (проволочной термопары) выполняется замер теплового потока, прошедшего через образец.

Измерение теплопроводности материалов и изделий, используемых для строительства, может выполняться в лабораториях стационарным методом (при этом выполняется определение теплопроводности образцов ограниченного размера) или же в полевых условиях зондовым методом (также выполняются обследования конструкций и крупногабаритных изделий). Соответственно, измеритель теплопроводности может быть стационарным (измерения выполняются согласно ГОСТ 7076) или зондовым (работающим по ГОСТ 30256).

Современные измерители теплопроводности являются высокотехнологичными приборами на основе микропроцессора, их измерительная схема работает в цифровом режиме. Благодаря этому результаты измерений могут записываться в энергонезависимую память, а в последующем – обрабатываться на персональном компьютере с использованием соответствующего программного обеспечения.

Перенос тепла (теплопередача) может осуществляться за счет конвекции, теплового излучения и теплопроводности. Теплотери в жилых и производственных зданиях и сооружениях происходят в основном за счет переноса тепла с потоком воздуха (т.е. конвективным способом), так как помещения не являются герметичными, и за счет прохождения тепла через стены, перекрытия и другие элементы конструкции (т.е. из-за теплопроводности ограждающих конструкций) при недостаточной теплоизоляции. Тепловой контроль выявляет причины утечки тепла и разрабатывает рекомендации для повышения энергоэффективности зданий.

Чтобы снизить теплоток, проходящий через ограждающие конструкции, необходимо использовать строительные материалы с пониженной теплопроводностью или монтировать дополнительную наружную теплоизоляцию. Для определения эффективной теплопроводности образцов строительных и теплоизоляционных материалов и конструкций служит измеритель теплопроводности.

Существует множество способов измерения теплопроводности (коэффициента теплопроводности). Они отличаются по степени применимости к объектам в зависимости от их теплопроводности, а также от необходимого температурного диапазона. Методы измерения теплопроводности делятся на два больших класса: *стационарные* (установившиеся), в которых через образец с течением времени формируется постоянный тепловой поток, и *нестационарные* (неустановившиеся), в них тепловой поток через образец не достигает постоянного значения. Известны другие методы (например, методы периодического ввода теплоты), которые также можно отнести к нестационарным.

В установившихся методах испытуемый образец приводят в контакт с двумя телами – нагревателем и теплоотводом, имеющими разную температуру. Температура каждого тела поддерживается постоянной в ходе измерения. В результате через образец начинает протекать тепловой поток в направлении от нагревателя к теплоотводу, и спустя достаточный промежуток времени этот поток становится установившимся, т.е. температура в каждой точке образца перестает зависеть от времени. Как правило, такие испытания требуют значительного времени (от получаса и более) и образцов больших размеров (10 см и более).

Поскольку в основе стационарных методов лежит применение закона Фурье, геометрия calorиметрической ячейки либо плоская, либо цилиндрически-симметричная.

Методы, в которых реализован стационарный режим, делятся на *абсолютные* и *относительные*. В абсолютных теплопроводность рассчитывается напрямую, исходя из экспериментально найденных величин. Относительные методы требуют наличия эталона – материала с уже известной теплопроводностью. К абсолютным методам относятся метод изолированной горячей плиты и метод коаксиальных цилиндров. Относительные методы – это метод плоской пластины, метод прямого нагрева (метод Кольрауша) и метод горячей (нагретой) проволоки.

Нестационарные методы определения теплопроводности, как правило, позволяют непосредственно измерить температуропроводность, а искомая величина вычисляется с учетом известных значений теплоемкости и плотности.

Краткое описание предлагаемого решения. Программное обеспечение NI ELVIS II, разработанное в LabVIEW, обладает достоинствами программ, реализованных с использованием технологии виртуальных приборов. Для программирования аппаратных средств NI ELVIS II в состав программного обеспечения включены измерительные приборы с лицевой панелью, отображаемой на экране монитора (Soft Front Panel Instruments – SFP), API функции LabVIEW (Application Programming Interface – интерфейс программных приложений) и программные блоки Signal Express.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) – это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments (США). Среда разработки LabVIEW используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. Графический язык программирования «G», используемый в LabVIEW, основан на архитектуре потоков данных. В отличие от императивных (текстовых) языков программирования в LabVIEW последовательность выполнения операторов определяется не порядком их следования, а наличием данных на входах этих операторов. Операторы, не связанные по данным, выполняются параллельно в произвольном порядке.

Программы LabVIEW называются виртуальными приборами (ВП, Virtual Instrument – VI) и состоят из двух частей:

- лицевая панель (Front Panel) представляет собой интерактивный пользовательский интерфейс виртуального прибора и названа так, потому что имитирует лицевую панель традиционного прибора. Содержит средства ввода – вывода: ручки управления, кнопки, графические индикаторы и другие элементы управления (controls), которые являются средствами ввода данных со стороны пользователя и элементы индикации (indicators) – выходные данные из программы;

- блок-диаграмма (Block Diagram) является исходным программным кодом ВП, созданным на языке графического программирования LabVIEW, G. Блок-диаграмма представляет собой реально исполняемое приложение. Компонентами блок-диаграммы являются виртуальные приборы более низкого уровня, встроенные функции LabVIEW, константы и структуры управления выполнением программы. Для того чтобы задать поток данных между определенными объектами (создать связь между ними), необходимо нарисовать соответствующие проводники (wires). Объекты на лицевой панели представлены на блок-диаграмме в виде соответствующих терминалов (terminals), через которые данные могут поступать от пользователя в программу и обратно.

Роль программных сред, подобных LabVIEW, в научных исследованиях и технических экспериментах весьма велика. Вызвано это развитием и совершенствованием измерительной техники и появлением нового поколения высокоточных и высокочувствительных измерительных приборов и

автоматизированных измерительных систем, с помощью которых регистрируются переходные процессы 3–4-го порядка малости.

Несмотря на свою «малость», определение вида процесса часто играет ключевую роль в формировании основного явления, влияния на качество конечной продукции и т.д. Анализ подобных процессов, как правило, оказывается вне досягаемости теоретических моделей, поэтому в большинстве случаев эксперимент является единственным источником качественно новой и надежной информации, при этом результат достигается гораздо быстрее, чем методами «чистой» теории.

Модуль NI ELVISmx обладает набором виртуальных измерительных приборов, которые просты в использовании и предоставляют необходимый функционал для исследования схем фильтрации.

Определение теплопроводимости осуществляется с помощью двух энкодеров. Недостатком инкрементальных энкодеров является то, что после включения устройства невозможно сразу определить температуру объекта без проведения дополнительной процедуры инициализации.

Система управления максимально доступна для исследования в режиме реального времени с применением удобных графических средств LabVIEW, что является преимуществом перед другими языками программирования.

УДК 621.3

Д. В. Баронова, В. Е. Арбузов, А. Л. Борзенкостуденты кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности**К. В. Епифанцев**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА ШУМА В ПАКЕТЕ LabVIEW

В настоящее время генераторы шума предназначены для защиты от утечки информации с работающих радиоэлектронных устройств: компьютеров, мобильных телефонов и т.д., их еще часто называют «глушилками» из-за способности подавить любой информационный сигнал, который попадает в сферу их действия. В специализированной аудитории ГУАП создается виртуальный инструмент при помощи пакета LabVIEW – генератор шума с нормальным и равномерным распределением значений сигнала на выходе. Мы решили исследовать данный генератор, потому что данная технология актуальна и с каждым годом проблема сохранения особого режима секретности на предприятиях усложняется.

Применение генератора шума целесообразно в лабораториях, где должен сохраняться особый режим секретности. Если в какой-либо организации существует запрет на использование мобильной связи, то генератор шума в состоянии перекрыть любой сигнал и не допустить проведение переговоров.



Рис. 1. Пример генератора шума

Виртуальный инструмент (ВИ) создается при помощи пакета LabVIEW, и в него встраивается возможность вычисления статистических характеристик сигнала.

Рассмотрим алгоритм создания лицевой панели.

1. Создаем новый ВИ – команда New VI в начальном диалоге.
2. Для определения числа отсчетов выходного сигнала размещаем цифровой орган управления Digital Control из вкладки Numeric меню Controls. Задаем подходящую надпись для созданного органа управления, например «Число отсчетов».
3. Размещаем цифровой орган управления Digital Control для определения числа интервалов при нахождении моды случайного процесса. Задаем подходящую надпись для созданного органа управления, например «Интервалы».
4. Размещаем орган управления Кноп из меню Controls/Numeric для регулировки интенсивности случайного процесса с равномерным распределением. Задаем для него надпись, например «Интенсивность».
5. Для установки среднеквадратичного отклонения случайного процесса с нормальным распределением размещаем один из ползунковых органов управления из вкладки Numeric меню Controls. Задаем для него диапазон значений [0...1]. Надпись к созданному органу управления может быть такая: «СКО».

6. Размещаем четыре цифровых индикатора Digital Indicator из вкладки Numeric меню Controls, которые будут отображать следующие статистические характеристики сгенерированного сигнала:

- математическое ожидание (mean),
- среднеквадратичное отклонение (standard deviation),
- дисперсия (variance),
- мода (mode).

7. Определяем подходящие надписи для индикаторов, пользуемся для этого инструментом Edit Text.

8. Размещаем графический индикатор Waveform Graph, в котором будет отображаться форма выходного сигнала. Настраиваем тип и цвет линии (контекстное меню в правом верхнем углу индикатора). Определяем подходящую надпись к индикатору, например «Сигнал». Отменяем свойство автоматического масштабирования по вертикальной оси, для чего снимаем выделение с пункта контекстного меню Y scale/AutoScale Y.

9. Размещаем на лицевой панели прибора, справа от индикатора сигнала, графический индикатор XY Graph из вкладки Graph меню Controls для отображения гистограммы случайного процесса. Наводим мышью на окно текущего графика, представляющее собой прямоугольник с условным обозначением графика, расположенный в правом верхнем углу индикатора XY Graph. Вызываем контекстное меню текущего графика с помощью правой кнопки мыши и в подменю Bar Plots (гистограмма) выбираем одну из горизонтально ориентированных гистограмм. Отмечаем свойство автоматического масштабирования по вертикальной оси, для чего снимаем выделение с пункта контекстного меню Y scale/AutoScale Y.

10. Размещаем переключатель вида распределения случайного процесса. Для этой цели подойдет орган управления Dial из вкладки Numeric меню Controls. Удаляем надпись Dial. После того как мы размещаем новый орган управления, с помощью подменю Representation контекстного меню объекта определяем тип данных: Unsigned Long – U32 (целое без знака 4 байта).

11. Используем инструмент Edit Text и определяем диапазон значений, соответствующий количеству распределений в генераторе: [0...2]. Используем вкладку контекстного меню органа управления Scale/Style и определяем его разметку таким образом, чтобы были видны маркеры целых значений без указания конкретных числовых значений. Используем инструмент Edit Text и задаем текстовые надписи рядом с маркерами. Надписи могут быть такими: «Нормальное распределение»/«Равномерное распределение»/«...» (последняя надпись определяется в соответствии с вариантом задания).

12. Размещаем один из логических выключателей из вкладки Boolean меню Controls для программирования возможности отключения прибора. Задаем надписи «Вкл» и «Выкл» к обоим положениям выключателя.

13. Размещаем на лицевой панели подходящие декоративные элементы, а также элементы с указанием варианта, фамилии разработчика и группы.

14. Переходим в окно диаграммы командой Window/Show Diagram.

Далее создаем диаграмму.

1. После переключения в окно диаграммы на ней уже должны находиться пять цифровых органов управления, четыре цифровых индикатора, логические переключатели с индикатором и два графических индикатора.

2. Размещаем на диаграмме структуру для цикла While Loop из вкладки Structures меню Functions. Вносим все имеющиеся элементы диаграммы внутрь цикла. К входу условия прекращения цикла подключаем логический переключатель «Вкл/Выкл». В дальнейшем вновь размещаемые элементы диаграммы заносим внутрь структуры.

3. Для создания возможности переключения вида распределения для выходного сигнала размещаем на диаграмме структуру Case Structure из вкладки Structures меню Functions.

4. К селектору структуры Case Structure подсоединяем цифровой переключатель вида распределения случайного процесса. При этом все имеющиеся на диаграмме объекты должны оказаться вне поля структуры Case Structure.

5. В первом кадре структуры Case Structure размещаем функцию Gaussian White Noise.vi, во втором – Uniform White Noise.vi. Все эти функции находятся во вкладке Signal Processing/Signal Generation меню Func-tions. После этого соединяем выходы функций с входом графического индикатора. Входы Samples обеих функций генерации подсоединяем к органу управления «Число отсчетов».

6. Вносим орган управления «Интенсивность» внутрь кадра структуры Case Structure для равномерного распределения и подключаем его к входу Amplitude функции генерации.

7. Орган управления «Среднеквадратичное отклонение» вносим внутрь кадра генерации процесса с нормальным распределением и подключаем его к входу Standard deviation функции генерации.

8. Из вкладки Mathematics/Probability and Statistics меню Functions размещаем на диаграмме функции для вычисления статистических характеристик выходного сигнала и следующие функции:

- Mode.vi – мода;
- Variance.vi – дисперсия;
- Mean.vi – математическое ожидание.

9. Входы X всех размещенных функций подсоединяем к выходу функций генерации.

10. К входу Intervals функции Mode.vi присоединяем орган управления «Интервалы». Значение на этом входе должно быть больше 0. По умолчанию на этом входе устанавливается 1.

11. Выходы аналитических функций подсоединяем к соответствующим индикаторам.

12. Для нахождения гистограммы случайного процесса размещаем на диаграмме функцию Histogram.vi из вкладки Mathematics/Probability and Statistic меню Functions. К входу X этой функции подключаем массив, отображающий случайный процесс. Вход Intervals соединяем с органом управления «Интервалы».

13. Гистограмма будет отображаться на графическом индикаторе XY Graph, на входе которого ожидаются два массива со значениями по осям x и y. Для того чтобы подать два массива на этот объект, их нужно объединить в кластер – специальный тип данных LabVIEW. Для формирования кластера воспользуемся функцией Bundle из вкладки Cluster меню Functions. После размещения этой функции на диаграмме она имеет два входа и один выход. К верхнему входу подсоединяем выход Histogram: h(x) функции Histogram.vi. Выход X Values той же функции подсоединяем к нижнему входу функции Bundle. Кластер, получившийся на выходе Bundle, подключаем к графическому индикатору «Гистограмма».

14. Запускаем ВИ на выполнение командой Run.

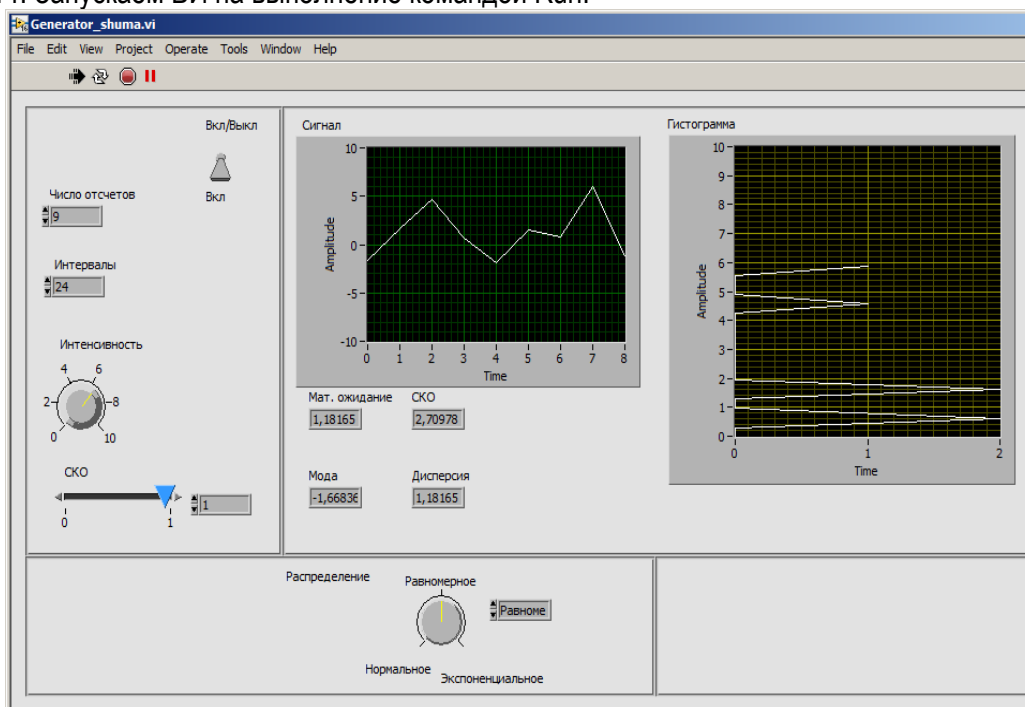


Рис. 2. Скриншот лицевой панели разработанного генератора шума

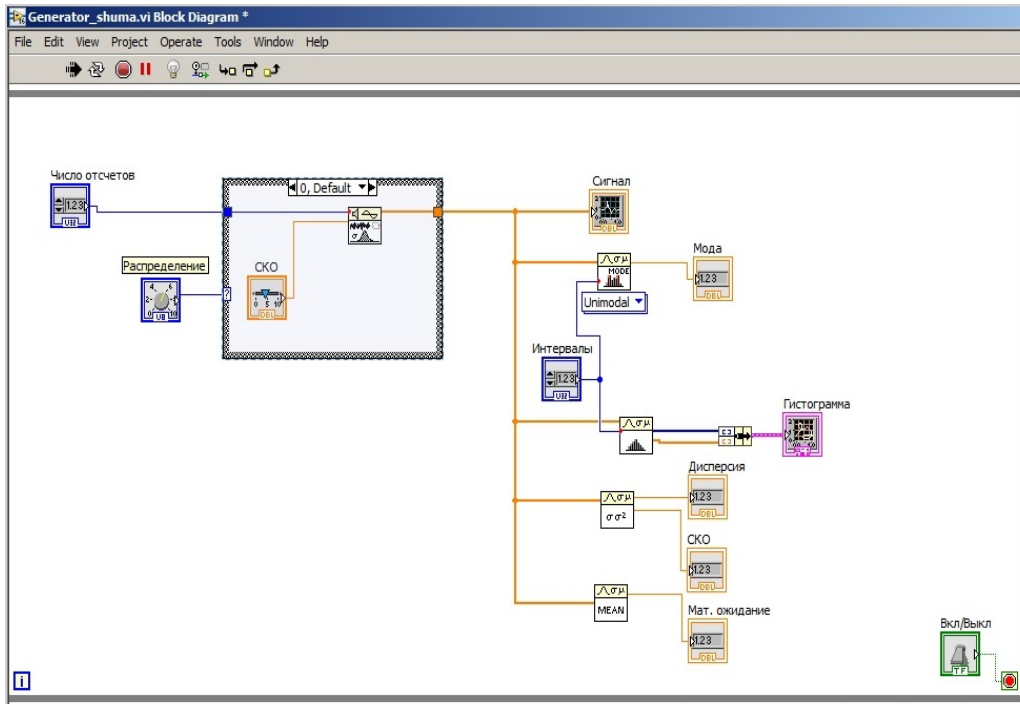


Рис. 3. Скриншот блок-диаграммы разработанного генератора шума

В качестве результата работы представлены скриншоты лицевой панели и диаграммы созданного генератора шума, его итогового вида и работоспособности.

Виртуальный генератор шума, созданный с помощью пакета LabVIEW, предназначен для моделирования систем радиосвязи при производстве систем защиты связи.

Библиографический список

1. Блюм, П. LabVIEW: стиль программирования / П. Блюм. М.: ДМК Пресс, 2010.
2. Федосов, В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW / В. П. Федосов. М.: ДМК Пресс, 2013.
3. Лупов, С. Ю. LabVIEW в примерах и задачах / С. Ю. Лупов, С. И. Муякшин, В. В. Шарков. Нижний Новгород, 2007.

УДК 620

М. В. Абакшина, К. В. Золотухин, С. А. Наумовстуденты кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности**К. В. Епифанцев**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАТИНОВОГО ТЕРМОРЕЗИСТОРА С ЦЕЛЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЕГО СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В данной статье представлены методы определения зависимости сопротивления терморезистора с положительным ТКС от температуры. В первую очередь он является первичным преобразователем изменения температуры в электрический сигнал. Сегодня предприятия изготавливают миллионы различных терморезисторов, которые нашли применение в самых разнообразных сферах: в промышленном оборудовании, аппаратах и установках, в системах управления космическими кораблями, двигателями внутреннего сгорания, воздушными кондиционерами и датчиками обледенения, а также в устройствах для защиты от перегрева. Терморезисторные датчики применяются в медицине для измерения локальной и общей температуры тела. Терморезисторы также используются для температурной компенсации отклоняющихся катушек или схем развертки. В системах телефонной связи данная группа элементов применяется для регулирования уровня речевого сигнала, выравнивания частотной характеристики телефонных линий и др.

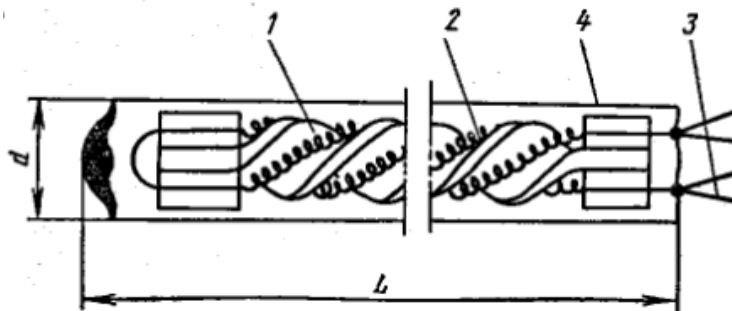


Рис. 1. Схема устройства платинового термометра сопротивления П. Г. Стрелкова:
1 – каркас; 2 – платиновая спираль; 3 – выводы; 4 – оболочка

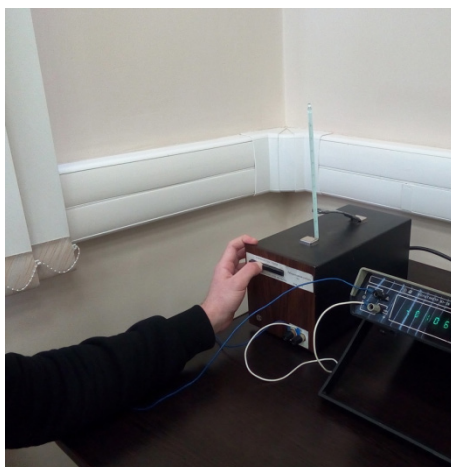


Рис. 2. Измерительная установка

Измерения проводились в аудитории ФБУ «Тест Санкт-Петербург» на установке, состоящей из термостата, термометра и омметра. В ходе проведения измерений была получена следующая совокупность экспериментальных данных (табл. 1).

Экспериментальные данные

№ п/п	Температура в термостате, °C	Сопротивление терморезисторов R_t , Ом
1	30	111,85331
2	35	113,82124
3	40	115,78231
4	45	117,74111
5	50	119,70301
6	55	121,65290
7	60	123,60246
8	65	125,55321
9	70	127,50112
10	75	129,44289

В промышленности принято использовать отдельные аппроксимации для низких и высоких температур, а именно в двух диапазонах: от -200 до 0 °C и от 0 до 630 °C. Рассмотрим последний диапазон. Каллендар ван Дасен предложил следующее аппроксимационное выражение для передаточной функции платинового детектора в диапазоне высоких температур:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t – сопротивление терморезистора, Ом; R_0 – номинальное сопротивление терморезистора, Ом, при температуре 0 °C; коэффициенты A и B определяются свойствами платины (их определение и есть основная задача аппроксимации экспериментальных данных).

Поскольку аппроксимирующая функция является параболой (количество точек, через которые можно провести лишь одну параболу, равно трем), то для нахождения коэффициентов R_0 , A и B необходимо решить систему трех линейных уравнений относительно этих коэффициентов:

$$\begin{cases} R_{t_1} = R_0(1 + At_1 + Bt_1^2), \\ R_{t_2} = R_0(1 + At_2 + Bt_2^2), \\ R_{t_3} = R_0(1 + At_3 + Bt_3^2), \end{cases}$$

где R_{t_1} , R_{t_2} , R_{t_3} – сопротивление терморезистора при температуре t_1 , t_2 , t_3 соответственно. После некоторого преобразования можно записать

$$\begin{cases} R_0 + AR_0t_1 + BR_0t_1^2 = R_{t_1}, \\ R_0 + AR_0t_2 + BR_0t_2^2 = R_{t_2}, \\ R_0 + AR_0t_3 + BR_0t_3^2 = R_{t_3}. \end{cases}$$

Запишем данную систему уравнений в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 \\ 1 & t_2 & t_2^2 \\ 1 & t_3 & t_3^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_0 \\ AR_0 \\ BR_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{t_1} \\ R_{t_2} \\ R_{t_3} \end{pmatrix},$$

для полученных экспериментальных данных

$$\begin{aligned} R_0 &\approx 99,982433 \approx 99,98243 \text{ Ом} \\ A &= \frac{AR_0}{R_0} \approx \frac{0,397622}{99,982433} \approx 3,97692 \cdot 10^{-3} \text{ °C}^{-1} \\ B &= \frac{BR_0}{R_0} \approx \frac{-6,421777 \cdot 10^{-5}}{99,982433} \approx -6,42291 \cdot 10^{-7} \text{ °C}^{-2} \end{aligned}$$

Сравнивая полученные результаты со значениями из ГОСТ 6651-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний» $R_0 = 100$ Ом, $A = 3,9690 \cdot 10^{-3} \text{ °C}^{-1}$ и $B = -5,841 \cdot 10^{-7} \text{ °C}^{-2}$, мы видим, что погрешность эксперименталь-

но полученных значений невелика, и в данном случае для определения сопротивления терморезистора имеем следующее аппроксимирующее уравнение:

$$R_t = 99,98243 \cdot (1 + 3,97692 \cdot 10^{-3}t - 6,42291 \cdot 10^{-7}t^2).$$

Составим сравнительную таблицу экспериментальных данных и данных, полученных с помощью аппроксимирующего выражения (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная таблица экспериментальных значений и значений аппроксимации

№ п/п	Температура в термостате, °С	Сопротивление терморезисторов R_t (эксперимент), Ом	Сопротивление терморезисторов R_t (аппроксимация), Ом
1	30	111,85331	111,85330
2	35	113,82124	113,82054
3	40	115,78231	115,78457
4	45	117,74111	117,74538
5	50	119,70301	119,70299
6	55	121,65290	121,65739
7	60	123,60246	123,60857
8	65	125,55321	125,55655
9	70	127,50112	127,50131
10	75	129,44289	129,44286

Как видно из таблицы, отклонение численных данных от опытных невелико. Проиллюстрируем графически полученный результат (рис. 3).

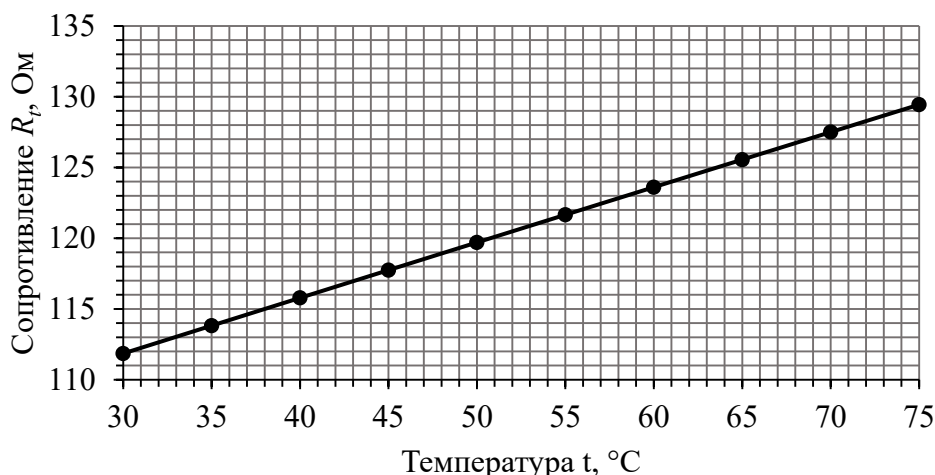


Рис. 3. График зависимости сопротивления R_t , Ом, терморезистора от температуры t , °С

Точками на графике изображены экспериментальные значения, а прямой линией – аппроксимирующие. Из данного графика видно, что функциональная зависимость между температурой и сопротивлением достаточно линейна. Это обусловлено очень малым значением коэффициента B при квадратном члене полинома, который обуславливает квадратичную зависимость, по сравнению с коэффициентом A при члене первой степени, который обуславливает линейную зависимость.

Рассмотрим еще один параметр, характеризующий работу терморезистора сопротивления, а именно температурный коэффициент термопреобразователя сопротивления α . Он показывает относительное приращение сопротивления терморезистора при изменении температуры на единицу или, другими словами, температурный коэффициент α выражает в процентах изменение абсолютной величины сопротивления при изменении температуры на 1 °С. В общем виде определяется по формуле

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{dR_t}{dt} C^{-1}$$

или

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{dR_t}{dt} \cdot 100\%.$$

Для расчетного метода по экспериментальным данным используется приближенная формула

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{\Delta R_t}{\Delta t} C^{-1}$$

или

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \frac{\Delta R_t}{\Delta t} \cdot 100\%,$$

где R_t – сопротивление терморезистора, Ом; dR_t – дифференциал сопротивления терморезистора, Ом; dt – дифференциал температуры, °С; ΔR_t – приращение сопротивления терморезистора, Ом; Δt – приращение температуры, °С. В случае если график, построенный по экспериментальным значениям, достаточно линейный, то возможно использовать первую группу формул, найдя производную этой линейной зависимости, так как в данном случае и первая и вторая группы формул идентичны.

Для нахождения ТКС α по аппроксимирующей зависимости воспользуемся первыми двумя формулами, а для нахождения ТКС α по опытным данным – последними двумя. Найдем производную от

$$\begin{aligned} R_t &= R_0(1 + At + Bt^2) \\ (R_t)'_t &= [R_0(1 + At + Bt^2)]'_t = \\ &= R_0(A + 2Bt), \end{aligned}$$

тогда для имеющейся аппроксимирующей функции получим:

а) в начале полученной характеристики

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1}{R_{t_1}} \frac{dR_t}{dt} = \frac{1}{111,85330} \cdot 99,98243 \cdot \\ &\cdot (3,97692 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 6,42291 \cdot 10^{-7} \cdot 30) \approx 3,52041 \cdot 10^{-3} C^{-1} \end{aligned}$$

или

$$\alpha = \frac{1}{R_{t_1}} \frac{dR_t}{dt} \cdot 100 \approx 0,352\%,$$

б) в конце полученной характеристики

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1}{R_{t_{10}}} \frac{dR_t}{dt} = \frac{1}{129,44286} \cdot 99,98243 \cdot \\ &\cdot (3,97692 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 6,42291 \cdot 10^{-7} \cdot 75) \approx 2,99738 \cdot 10^{-3} C^{-1} \end{aligned}$$

или

$$\alpha = \frac{1}{R_{t_{10}}} \frac{dR_t}{dt} \cdot 100 \approx 0,3\%.$$

То есть для полученного аппроксимирующего полинома ТКС α будет изменяться в пределах от $\approx 0,352$ до $\approx 0,3$, % в диапазоне температур от 30 до 75 °С.

Найдем ТКС α по экспериментальным значениям. Поскольку график, построенный по экспериментальным значениям, является вполне линейным, то мы можем найти производную по температуре этой линейной зависимости, а затем вычислить ТКС:

а) в начале полученных данных

$$\begin{aligned} \alpha &\approx \frac{1}{R_{t_1}} \frac{\Delta R_t}{\Delta t} = \frac{1}{R_{t_1}} \cdot \frac{R_{t_{10}} - R_{t_1}}{t_{10} - t_1} = \frac{1}{R_{t_1}} \cdot \frac{129,44289 - 111,85331}{75 - 30} = \\ &= \frac{0,39088}{R_{t_1}} = \frac{0,39088}{111,85331} \approx 3,49458 \cdot 10^{-3} C^{-1} \end{aligned}$$

или

$$\alpha = \frac{0,39088}{R_{t_1}} \cdot 100 \approx 0,349\%;$$

б) в конце полученных данных

$$\alpha = \frac{0,39088}{R_{t_{10}}} = \frac{0,39088}{129,44289} \approx 3,01971 \cdot 10^{-3} \text{C}^{-1}$$

или

$$\alpha = \frac{0,39088}{R_{t_1}} \cdot 100 = \frac{0,39088}{129,44289} \cdot 100 \approx 0,302 \%$$

То есть для полученных экспериментальных данных ТКС α будет изменяться в пределах от $\approx 0,349$ до $\approx 0,302$ % в диапазоне температур от 30 до 75 °С. Сравнивая полученные разными методами значения (по аппроксимирующему полиному и экспериментальным данным), мы видим, что они отличаются между собою в районе четвертого знака после запятой, что является приемлемым, поэтому для приближенных расчетов ТКС можно представлять зависимость сопротивления платинового терморезистора от температуры в виде линейной функции и пользоваться формулой

$$\alpha = \frac{1}{R_t} \cdot \frac{R_{t_n} - R_{t_1}}{t_n - t_1},$$

где R_t – сопротивление терморезистора, Ом; R_{t_1} – сопротивление терморезистора, Ом, при температуре начала измерений t_1 , °С; R_{t_n} – сопротивление терморезистора, Ом, при температуре окончания измерений t_n , °С.

В ходе проведения исследования была изучена статическая характеристика платинового терморезистора с положительным ТКС. Было выяснено, что для приближенных расчетов удобно представлять зависимость электрического сопротивления терморезистора от температуры в виде линейной функции, если же поставленная задача требует более точных результатов расчетных данных, то необходимо представлять статическую характеристику платинового терморезистора в виде полинома второй степени и методами, изложенными ранее, аппроксимировать совокупность экспериментальных точек в данном диапазоне измерений.

Библиографический список

1. *Фрайден, Дж.* Современные датчики / Дж. Фрайден. М.: Техносфера, 2005. 592 с.
2. *Мэклин, Э. Д.* Терморезисторы / Э. Д. Мэклин; под ред. К. И. Мартюшова. М.: Радио и связь, 1983. 208 с.
3. *Преображенский, В. П.* Теплотехнические измерения и приборы / В. П. Преображенский. 3-е изд., перераб. М.: Энергия, 1978. 704 с.
4. *Шефтель, И. Т.* Терморезисторы / И. Т. Шефтель. М.: Наука, 1973. 416 с.

УДК 504.3.054

А. А. Николаева

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

А. Г. Варехов

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКОВ

В наше время средства измерения являются неотъемлемой частью современного общества и технических устройств. Их используют как в быту, так и в промышленности. Сегодня невозможно найти отрасль, в которой не применялись бы самые разные измерители: температуры, уровня радиации, давления, влажности, напряженности магнитного поля и другие.

Достоверное измерение токов в энергетическом и управляющем оборудовании является важным аспектом обеспечения высокой надежности и безопасности промышленных систем и электронных приборов. Специализированные датчики также применяются для определения разбаланса токов, мониторинга и диагностики цепей, запуска схем защиты, обнаружения отказов электрооборудования и аварийных состояний различных типов нагрузки. Целью данной работы является исследование современных датчиков тока.

Магниторезистивные датчики, или магниторезисторы, представляют собой разновидность гальваномагнитных датчиков, в которых под действием магнитного поля изменяется сопротивление электрическому току. В этом проявляется эффект Гаусса.

Магниторезистор – это полупроводниковый резистор, его основное свойство заключается в способности изменять свое электрическое сопротивление под действием магнитного поля.

Магниторезистивный эффект, или эффект Гаусса, – это изменение удельной проводимости полупроводника во время изменения магнитного поля, которое на него воздействует.

Это происходит так: во внешнем поперечном магнитном поле размещают полупроводниковую пластину, после чего вдоль нее пропускают ток. Происходит искривление траектории носителей заряда под воздействием силы Лоренца. Таким образом, увеличивается длина пути, который проходят носителя заряда между электродами. К этим электродам приложено внешнее электрическое поле, что вызывает увеличение удельного сопротивления полупроводника.

Когда магнитное поле перпендикулярно направлению протекания электрического тока, сопротивление полупроводника также увеличивается. В этом случае направление магнитного поля должно быть параллельно направлению тока. В первом варианте описан поперечный эффект магнитосопротивления, которое и получило применение на практике. Второе явление называется продольным эффектом магнитосопротивления. Поскольку в нем сопротивление магнитного поля изменяется слабо, оно не получило практического применения.

Применение магниторезисторов пока ограничивается вследствие технологических трудностей обеспечения повторяемости их метрологических характеристик, поэтому их основным применением является использование в релейном режиме с целью, например, фиксации наличия или отсутствия магнитного поля или превышения индукцией магнитного поля некоторого заданного уровня.

Один из производителей магниторезистивных датчиков тока – немецкая компания Sensitec. Серия датчиков Sensitec CMS3000 (рис. 1 и таблица) отличается широким частотным диапазоном 2 МГц и рабочими температурами в интервале от –40 до 105 °С. Такие датчики открывают перед разработчиками новые возможности, о которых не могло быть и речи с традиционными технологиями измерения тока. Датчики тока Sensitec могут применяться в самой различной аппаратуре – от схем управления двигателями и драйверов лазерных диодов до источников питания и усилителей звуковой частоты. Стоит отметить возможность использования датчиков CMS3000 в современных индукционных нагревателях и мощных бесконтактных зарядных устройствах.



Рис. 1. Датчики тока Sensitec CMS3000

Характеристики датчиков тока Sensitec CM3000

Датчик	Номинальный ток, А	Диапазон измеряемого тока, А	Время отклика, нс, тип.	Точность измерений, % от ном. тока
CMS3005	5	± 20	20	± 0,6
CMS3015	15	± 60	10	
CMS3025	25	± 100	15	
CMS3050	50	± 200	25	
CMS3100	100	± 400	55	± 0,8

В корпусе датчика смонтирована шина, на ней установлен магниторезистивный сенсор, сигнал с которого поступает на встроенный операционный усилитель (рис. 2).

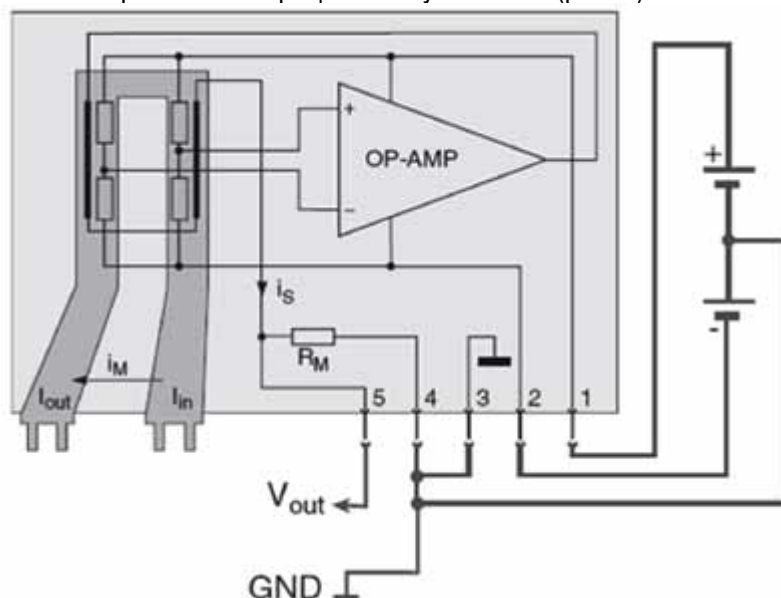


Рис. 2. Устройство датчика серии CMS3000

Несмотря на бесконтактную технологию измерения, измерительные входы датчиков все-таки нужно включить в разрыв цепи. Но внутренняя шина не обладает ни высоким сопротивлением, ни индуктивностью, ни гистерезисом и не влияет, таким образом, на результаты измерений. Напряжение на выходе датчика пропорционально протекающему по шине току и измеряется как отклоне-

ние от номинального значения, равного 2,5 В (рис. 3). Для питания датчиков требуется двухполярный источник ± 15 В.

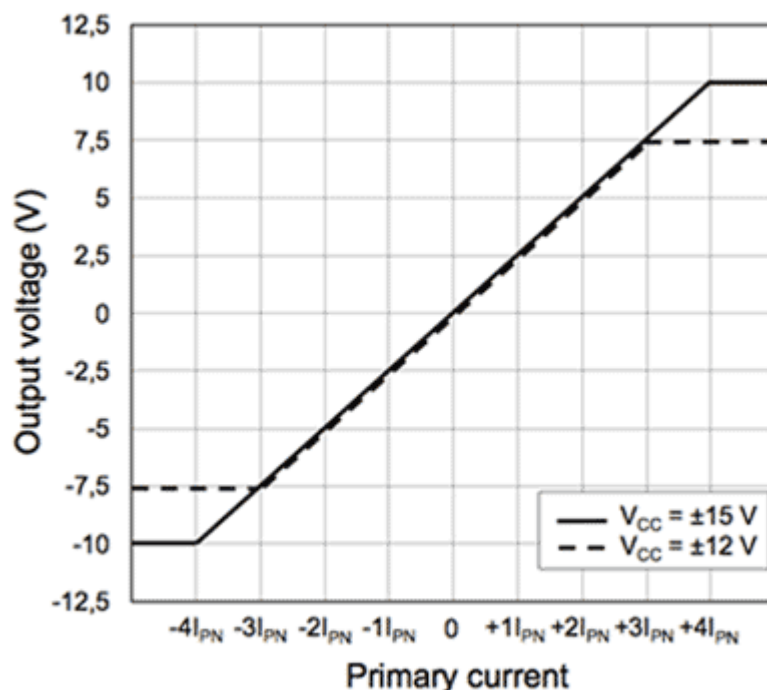


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения датчиков CMS3000 от входного тока

На рис. 4 показано семейство функционально законченных магниторезистивных датчиков постоянного и переменного (до 100 кГц) тока серии NT, выпускаемых компании F. W. Bell. Цифры в названии датчика (см. рис. 4) обозначают номинальный ток. Максимальный ток в течение 3 с. может быть втрое больше номинального, т.е. ± 150 А для датчика NT-50 или ± 15 А для NT-5. Сопротивление первичной цепи не превышает 12 мОм для NT-5 и 150 мкОм для NT-50. Номинальное выходное напряжение датчиков составляет $\pm 2,5$ В, испытательное напряжение – 3500 В. При комнатной температуре полная погрешность измерения не превышает $\pm 0,8\%$, погрешность линейности не более $\pm 0,1\%$. Температурный дрейф чувствительности составляет $\pm 0,01\%/^{\circ}\text{C}$. Максимальное напряжение смещения в рабочем диапазоне $-25...85^{\circ}\text{C}$ равно ± 35 мВ.

Датчики серии NT обеспечивают превосходные динамические характеристики: при скорости нарастания первичного тока 100 А/мкс время срабатывания не превышает 150 нс, а время нарастания – 1 мкс для NT-50 и 1,7 мкс для NT-5 и NT-15. Напряжение питания $\pm 12...15$ В, потребляемый ток не более 40 мА. Масса приборов составляет 4...6,5 г, габариты 35 × 23,5 × 7,3 мм.



Рис. 4. Магниторезистивные датчики тока серии NT производства компании F. W. Bell

На сегодняшний день магниторезисторы развиваются и пользуются большой популярностью в любых сферах электроники. Они дошли и до приборов, предназначенных для измерения токов.

Библиографический список

1. *Егиазарян, Г. А.* Магнитодиоды, магниторезисторы и их применение / Г. А. Егиазарян, В. И. Стафеев. М.: Радио и связь, 1987.
2. *Ripka, P.* Advances in Magnetic Field Sensors / P. Ripka // IEEE Sensors journal. 2010
3. *Васильева, Н. П.* Магниторезистивные датчики на тонких ферромагнитных пленках. Обзор / Н. П. Васильева, С. И. Касаткин, А. М. Муравьев // Приборы и системы управления. 1994.
4. *Афанасьев, Ю. В.* Магнитометрические преобразователи, приборы, установки / Ю. В. Афанасьев, Н. В. Студенцов, А. П. Щелкин. Л: Энергия, 1972.
5. *Бараночников, М. Л.* Микромагнитоэлектроника / М. Л. Бараночников. М.: ДМК Пресс, 2002.

УДК 503

Р. С. Холодовастудент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий
и промышленной безопасности**А. Г. Чуновкина**

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА

Российская промышленность проявляет активный интерес к более широкому распространению процедуры калибровки, речь идет о замене в некоторых случаях поверки на калибровку. Ключевое различие между этими двумя понятиями заключается в том, что первое является обязательным в области государственного регулирования, а второе происходит на добровольной основе и может осуществляться метрологической службой предприятия.

Однако тот факт, что калибровка средств измерений в основном происходит по методикам поверки, лишает ее значимости и главного преимущества – уменьшения погрешности проводимых измерений. Повышение точности при калибровке достигается в результате установления индивидуальных метрологических характеристик калибруемого эталона или средства измерения, а также возможности выбрать эталоны для проведения данной процедуры, объем измерений, разработки специальных методик, в которых будут учитываться составляющие неопределенности, обусловленные применяемыми эталонами и условиями измерений при калибровке. Исходя из сказанного, можно сделать вывод об актуальности разработки методик калибровки, в данной статье эта задача решается на примере разработки методики калибровки цифрового мультиметра.

Проект методики калибровки разработан на основе следующих документов:

- ГОСТ Р 8.879-2014 «ГСИ. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению»,
- ГОСТ 14014-91 «Приборы и преобразователи измерительные цифровые напряжения, тока, сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний»,
- РЭ «Мультиметры цифровые APPA-98III, APPA-99III. Руководство по эксплуатации» и методика калибровки цифровых мультиметров от EURAMET (Calibration Guide).

Проект методики калибровки содержит следующие разделы:

- Метрологические и технические характеристики цифрового мультиметра.
- Средства калибровки и вспомогательное оборудование.
- Сведения об условиях окружающей среды.
- Процедура калибровки: подготовка к процедуре калибровки; проверки, необходимые перед началом работы.
- Меры безопасности при проведении процедуры калибровки.
- Выполнение измерений при калибровке.
- Обработка результатов измерений: погрешности измерений; вычисление неопределенности измерения при калибровке.
- Содержание калибровочного сертификата.

Обработка данных основывается на следующих нормативных документах: ГОСТ 34100.3.1-2017 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения» и Р 50.2.038-2004 «ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений».

Результаты измерений при калибровке средства измерений (СИ) представляются в протоколе измерений следующего вида (табл. 1).

Источниками неопределенности при калибровке являются точность используемых эталонов и свойства калибруемых СИ, в данном случае разрешение цифровых мультиметров. Необходимая информация содержится в паспорте на прибор.

Таблица 1

Пример протокола калибровки постоянного тока

Значение силы тока на калибраторе	Предел измерения прибора	Измеренное значение силы тока	Отклонение от эталона	Нижний предел	Верхний предел
6,000 мА	60,00 мА			5,995	6,005
-30,00 мА				-30,02	-29,98
60,00 мА				59,95	60,05
60,000 мА	600,0 мА			59,95	60,05
-300 мА				-300,2	-299,8
600,0 мА				599,5	600,5
0,600 А	6,00 А			0,596	0,604
-3,000 А				-3,005	-2,995
6,000 А				5,992	6,008
1,0 А	10 А			0,969	1,031
5,0 А				4,966	5,034
10,0 А				9,96	10,04

По результатам калибровки рассмотрена процедура проверки соответствия нормированным метрологическим характеристикам с учетом неопределенности измерений (табл. 2).

Таблица 2

Обработка результатов измерений, расчет неопределенности измерений

Значения, установленные на эталоне	Измеренные значения СИ	Отклонение от эталона	Неопределенность измерения	Предельная допустимая погрешность
x_{ref}	x_{cal}	$\Delta = x_{ref} - x_{cal}$	$U_{0,95}(\Delta)^*$	Δ_{lim}

* $U_{0,95}(\Delta) = 2 * U(\Delta) = \sqrt{U^2(x_{cal}) + U^2(x_{ref})}$ – суммарная неопределенность.

Библиографический список

- ГОСТ Р 8.879-2014. ГСИ. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению. Введ. 2015-09-01. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118303> (дата обращения: 24.04.2019).
- ГОСТ 14014-91. Приборы и преобразователи измерительные цифровые напряжения, тока, сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний. Введ. 1993-01-01. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-14014-91> (дата обращения: 24.04.2019).
- РЭ «Мультиметры цифровые APPA-98III, APPA-99III. Руководство по эксплуатации». URL: http://kip24.ru/wa-data/public/site/data/files/000003069_manual-appa-98iii,99iii.pdf (дата обращения: 24.04.2019).
- Методика калибровки цифровых мультиметров от EURAMET (Calibration Guide). URL: <https://www.euramet.org/publications-media-centre/calibration-guidelines> (дата обращения: 24.04.2019).
- ГОСТ 34100.3.1-2017. Неопределенность измерения. Ч. 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200146870> (дата обращения: 24.04.2019).
- Р 50.2.038-2004. ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037562> (дата обращения: 24.04.2019).

УДК 620

В. Н. Шаровагин

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

С. А. Назаревич

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

Волоконная оптика – основная физическая среда для передачи данных на колоссальных скоростях. Однако мир несовершенен, и кабель может быть поврежден в любой момент. Как найти место повреждения, если длина участка трассы десятки и сотни километров и физически добраться невозможно? На помощь приходит оптический рефлектометр – устройство, с помощью которого можно найти неисправность и определить качество сварки и разъемов. Главная проблема, возникающая при создании и использовании приборов, – организация их поверки.

Действующая методика поверки оптических рефлектометров основана на нормативно-техническом документе Р 50.2.071-2009, регламентируемом ГОСТ 8.585-2005 [1], государственная поверочная схема которого является технически устаревшей, никак не подлежащей настоящему научно-исследовательскому уровню, поэтому при поверке современных оптических рефлектометров используются уже неактуальные установки прошлых поколений, заметно уступающие в точности показаний, а также скорости обработки данных, энергозатратности и эргономичности. В связи с этим необходима разработка новой методики поверки оптических рефлектометров.

За базис дальнейшей методики поверки взят действующий ГОСТ 8.585-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)» [2], разработанный Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ФГУП «ВНИИОФИ»).

Для наглядного представления изменений в поверочных схемах сравним метрологические характеристики необходимых при поверке оптического рефлектометра блоков. Характеристики рабочих средств измерений и рабочих эталонов старой и новой поверочных схем приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики рабочих средств измерений и рабочих эталонов

Наименование характеристик		ГОСТ 8.585-2005	ГОСТ 8.585-2013
Рабочие эталоны	$L, км$	$6 \cdot 10^{-2} + 5 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^{-2} + 6 \cdot 10^2$
	$A, дБ$	$0,5 + 25,0$	$0,5 + 20,0$
	$\delta_L, м$	$(0,2 + 1,0 \cdot 10^{-5}L)$	$(0,15 + 5 \cdot 10^{-6}L)$
	$\delta_A, дБ$	$0,02A$	$0,015A$
Рабочие средства измерений	$\lambda, мкм$	$0,85 + 1,70$	$0,85 + 1,70$
	$L, км$	$0,1 + 500,0$	$0,1 + 600,0$
	$\delta_L, м$	$(1 + 2 \cdot 10^{-5}L)$	$(0,5 + 1 \cdot 10^{-5}L)$
	$A, дБ$	$0,5 + 25,0$	$0,5 + 25,0$
	$\delta_A, дБ$	$0,05A$	$(0,025 + 0,050)A$

Проанализировав данные метрологических характеристик устаревшей и усовершенствованной поверочных схем, а также основываясь на Р 50.2.071-2009 [3], можно сделать вывод, что действующая методика поверки является устаревшей и не соответствует научно-техническому уровню. Средства поверки, указанные в Государственном стандарте от 2009 г., больше не могут быть использованы для данного класса рефлектометров из-за несоответствия собственных метрологических характеристик данным, указанным в новой Государственной поверочной схеме: диапазон воспроизводимых длин рабочего эталона единицы длины и ослабления в световоде составляет 0,6–500 км, что значительно отклоняется от требуемого 0,06–600 км, а пределы допускаемой основной

абсолютной погрешности при измерении вносимого ослабления составляют всего $\pm 0,02$ А, дБ, вместо необходимых $\pm 0,015$ А, дБ.

Кроме прочего, рабочий эталон Государственного стандарта от 2005 г. включает чрезмерные значения диапазона измерения вносимых ослаблений в 0–40 дБ, от 0–20 необходимых дБ, что заметно увеличивает как стоимость самого прибора, так и его поверку и является совершенно неэффективным и ресурсозатратным.

В связи со всем перечисленным приведена новая методика поверки оптических рефлектометров, основанная на современной поверочной схеме, в базис которой входят иные средства поверки, применяемые при проведении поверки оптических рефлектометров на фиксированных длинах волн, соответствующие всем требованиям ГОСТ 8.585-2013.

При проведении поверки согласно разработанной методике применяют средства поверки, указанные в табл. 2.

Таблица 2

Метрологические характеристики рабочих эталонов

Наименование средства поверки	Основные метрологические характеристики
Рабочий эталон единиц длины и ослабления в световоде, ГР СИ №26439-04	$L = 0,06\text{--}600$ км $D = \pm(0,1 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot L)$, $A = 0\text{--}20$ дБ $\delta_a = \pm 0,015 \cdot A$,
Рабочий эталон средней мощности оптического излучения в волоконно-оптических системах передачи РЭСМ-ВС, ГР СИ № 32837-06	$\lambda = (800\text{--}900; 1250\text{--}1350;$ $1500\text{--}1700)$ нм $\delta_{ок} = \pm 2,5\%$ $\delta_{оо} = \pm 1,2\%$
Осциллограф цифровой запоминающий WaveJet 352, ГР СИ № 32488-06	Диапазон измерений: 0–500 МГц Погрешность измерений: $\pm 1,5\%$

Действующая методика поверки была недостаточно точна, поскольку применяемые рабочие эталоны не соответствовали настоящей поверочной схеме и научно-техническому уровню. Теперь методика поверки оптических рефлектометров основывается на последних достижениях науки и техники, что предоставляет полный обзор потенциальных погрешностей и наибольшую точность прибора.

Библиографический список

1. ГОСТ 8.585-2005. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны для волоконно-оптических систем связи и передачи информации. М.: Стандартинформ, 2005. Приложение А.

2. ГОСТ 8.585-2013. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации. М.: Стандартинформ, 2015. Приложение А.

3. ГСИ. Рефлектометры оптические. Методика поверки. М.: Стандартинформ, 2011.

УДК 504

М. И. Лившиц

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

С. А. Назаревич

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

НОВЫЙ МЕТОД КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА U1233A И РАСЧЕТ ЕГО СТОИМОСТИ

Калибровка средства измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений. Калибровка проводится опытным путем по официально утвержденным методикам (если таковые имеются).

Мультиметр может быть как переносным устройством, используемым для базовых измерений и поиска неисправностей, так и сложным стационарным прибором с множеством возможностей.

Передняя панель мультиметра U1233A представлена на рис. 1.

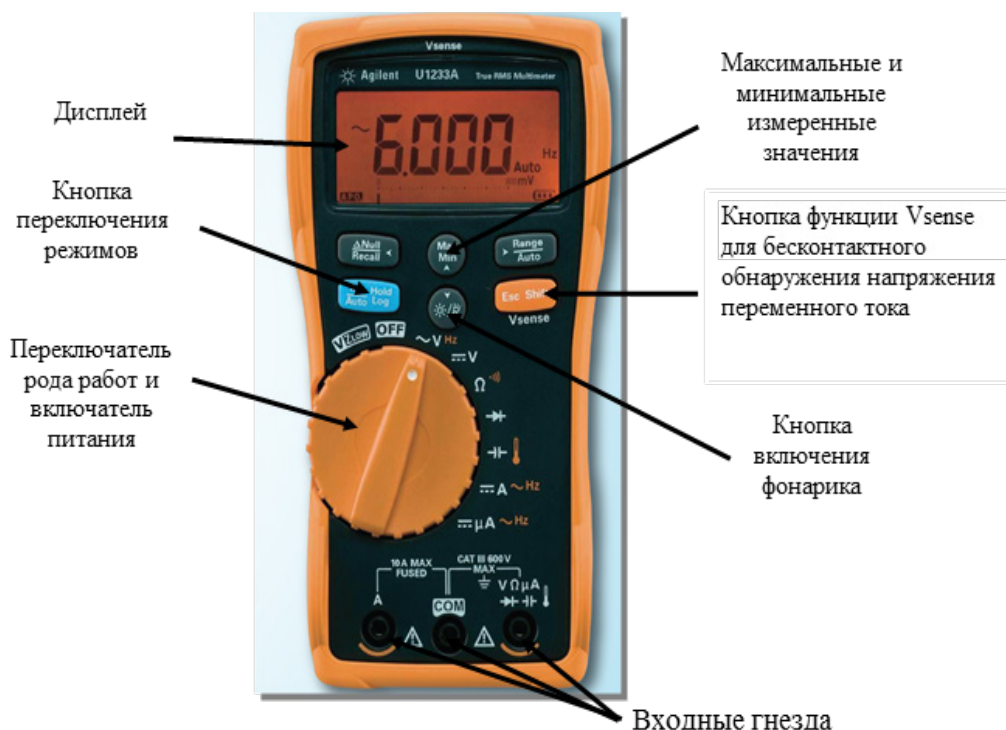


Рис. 1. Передняя панель мультиметра U1233A

Мультиметр U1233A предназначен для измерения постоянного и переменного напряжения, постоянного и переменного тока, сопротивления, частоты, емкости, температуры, проверки диодов и обрывов в цепях.

В данной работе рассматривается создание методики калибровки или поверки переносного цифрового мультиметра U1233A (далее мультиметр).

Актуальность этой работы заключается в том, что на данный момент времени не существует на территории РФ аккредитованных методик по поверке и калибровке мультиметра U1233A. Этот прибор по документам относится к индикаторам, а значит, не может быть средством измерения.

Технические характеристики мультиметра U1233A представлены в табл. 1.

Мультиметр соответствует требованиям электробезопасности: защита от перенапряжения не ниже CAT III 600 В, соответствует стандарту EN/IEC 61010-1:2001. На экране имеется индикаторная шкала, на которой отображается нестабильность измеряемого сигнала.

Технические характеристики мультиметра U1233A

Параметр	Величина
Напряжение постоянного тока Пределы, В Погрешность	от 0,6 до 600 0,5% + 5 е. м. р.
Напряжение переменного тока Пределы, В Погрешность Полоса частот, Гц	от 0,6 до 600 1,0% + 3 е. м. р. от 45 до $1 \cdot 10^3$
Сила постоянного тока Пределы, А Погрешность	от $60 \cdot 10^{-6}$ до 10 1,0% + 2 е. м. р.
Сила переменного тока Пределы, А Погрешность Полоса частот, Гц	от $60 \cdot 10^{-6}$ до 10 1,5% + 3 е. м. р. от 45 до 500
Сопротивление Пределы, Ом Погрешность	от 600 до $60 \cdot 10^6$ 0,9% + 3 е. м. р.

Диапазон рабочих температур: от -20 до 55 °С при относительной влажности от 0 до 80%. Для питания мультиметра используются четыре элемента типа AAA. Среднее время работы 500 ч. Гарантийный срок работы три года. Габаритные размеры $169 \times 86 \times 52$ мм.

Разработка схемы калибровки мультиметра. Все мультиметры типа U1233A должны проходить периодическую поверку не реже одного раза в год, а также после ремонта.

Калибровка мультиметра U1233A производится в соответствии с ГОСТ 8.409-81 «Омметры. Методы и средства поверки» и ГОСТ 8.497-83 «Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки». Согласно ГОСТу, допускается применять средства поверки, не указанные в ГОСТе, но удовлетворяющие по точности требованиям настоящих стандартов.

В ходе калибровки мультиметра U1233A использовался калибратор многофункциональный Fluke 5522A, номер в ГРСИ РФ 51160-12.

Калибратор Fluke 5522A представляет собой многофункциональный прибор, предназначенный для поверки, калибровки и проверки различных измерительных устройств. Данный прибор способен воспроизводить и измерять сопротивление, напряжение и силу постоянного и переменного тока в широком диапазоне. Внешний вид калибратора Fluke 5522A представлен на рис. 2.

Передняя панель калибратора Fluke 5522A



Рис. 2. Передняя панель калибратора Fluke 5522A

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Сравнительные характеристики мультиметра U1233A и калибратора Fluke 5522A представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные характеристики мультиметра U1233A и калибратора FLUKE 5522A

Параметр	Диапазон и погрешность	U1233A	Fluke 5522A
Измерение силы постоянного тока	Диапазон, А	от $60 \cdot 10^{-6}$ до 10	от $3 \cdot 10^{-6}$ до 20,5
	Погрешность	1,0% + 2 е. м. р	0,021%
Измерение напряжения постоянного тока	Диапазон, В	от 0,6 до 600	от 0,25 до 1020
	Погрешность	0,5% + 5 е. м. р.	0,002%
Измерение силы переменного тока	Диапазон, А	от $60 \cdot 10^{-6}$ до 10	от $30 \cdot 10^{-6}$ до 20,5
	Погрешность	1,5% + 3 е. м. р.	0,03%
Измерение напряжения переменного тока	Диапазон, В	от 0,6 до 600	от 0,001 до 1020
	Погрешность	1,0% + 3 е. м. р.	0,002%
Измерение сопротивления	Диапазон, Ом	от 600 до $60 \cdot 10^6$	от 6 до $1100 \cdot 10^6$
	Погрешность	0,9% + 3 е. м. р	0,002%

В данной работе разрабатываются схемы для калибровки мультиметра U1233A в соответствии с указанными стандартами и техническим описанием мультиметра и калибратора. Калибровка мультиметра U1233A производилась методом прямых измерений. В качестве источника измерительного сигнала служил многофункциональный калибратор Fluke 5522A. Структурная схема соединения приборов при измерении силы постоянного и переменного тока приведена на рис. 3. Структурная схема соединения приборов при измерении постоянного и переменного напряжения и сопротивления приведена на рис. 4.

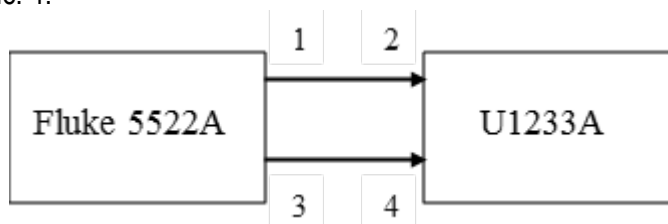


Рис. 3. Структурная схема соединения приборов при измерении силы постоянного и переменного тока:

- 1 – общий выход калибратора Fluke 5522A;
- 2 – общий вход мультиметра U1233A;
- 3 – токовый выход калибратора Fluke 5522A;
- 4 – токовый вход мультиметра U1233A

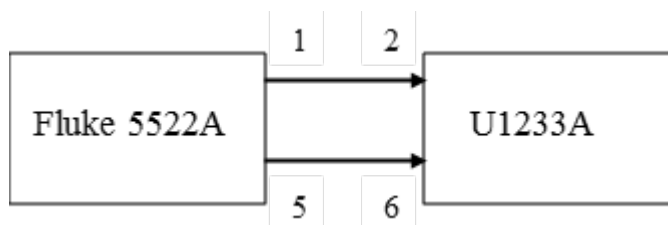


Рис. 4. Структурная схема соединения приборов при измерении постоянного и переменного напряжения и сопротивления:

- 1 – общий выход калибратора Fluke 5522A;
- 2 – общий вход мультиметра U1233A;
- 5 – выход калибратора Fluke 5522A, предназначенный для напряжения и сопротивления;
- 6 – вход мультиметра U1233A, предназначенный для напряжения и сопротивления

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Источниками погрешностей при поверке мультиметра U1233A могут служить основная, субъективная и систематическая погрешности.

Основная погрешность – это погрешность, полученная в нормальных условиях эксплуатации СИ (при нормальных условиях):

- зависимость отображения значений от условий окружающей среды;
- неточность градуировки калибратора;
- временная нестабильность мультиметра.

К субъективным погрешностям относятся следующие составляющие:

- погрешность зрительных органов человека;
- низкая степень квалификации оператора СИ.

К причинам, вызывающим систематическую погрешность, относят:

- погрешности метода;
- теоретические погрешности;
- инструментальные погрешности;
- погрешности, вызванные воздействием окружающей среды;
- условие измерений.

Средства измерения и затраты на проведение калибровки указаны в табл. 3, 4. Калибровкой занимается техник-метролог.

Таблица 3

Затраты на проведение калибровки

Наименование	Значение
Количество рабочих дней в 2018 г.	247
Зарботная плата в месяц, руб.	60 000
Количество рабочих дней в мае	20
Количество рабочих часов в день	8
Время проведения калибровки	3

Таблица 4

Средства измерения

Наименование прибора	Калибратор Fluke 5522A	ПК
Стоимость, руб.	1 950 000	25 290
Срок службы	4 года	2 года

Расчет амортизационных отчислений.

Амортизационные отчисления на содержание мультиметра и персонального компьютера (ПК) приведены ниже:

– для калибратора Fluke 5522A:

$$A_k = (S \div C \div D \div H) \cdot T = (1\,950\,000 \div 4 \div 247 \div 8) \cdot 3 = 493,42 \text{ руб.}$$

– для ПК:

$$A_{\text{ПК}} = (S \div C \div D \div H) \cdot T = (25\,290 \div 2 \div 247 \div 8) \cdot 3 = 19,19 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата

Проведем расчет основной и дополнительной заработной платы метролога по данным из табл. 3:

$$X = (60\,000 \div 20 \div 8) \cdot 3 = 1125 \text{ руб.}$$

Таким образом, за проведение калибровки основная заработная плата метролога составляет 1125 рублей.

Дополнительная заработная плата за процесс калибровки составляет:

$$X \cdot X_{\text{доп}} = 0,11X = 1125 \cdot 0,11 = 123,75 \text{ руб.}$$

Расчет отчислений на социальные нужды:

$$O_{\text{тч}} = (1125 + 123,75) \cdot 0,31 = 387,11 \text{ руб.}$$

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Расчет общепроизводственных расходов:

$$R_{\text{оз}} = 1,2X = 1,2 \cdot 1125 = 1350 \text{ руб.}$$

Сумма прочих затрат берется из расчета 2% от суммы предложенных затрат.

Расчет прочих затрат:

$$Z = (493,42 + 19,19 + 1125 + 123,75 + 1350 + 387,11) \cdot 0,02 = 69,97 \text{ руб.}$$

В табл. 5 приведено сравнение затрат в разных организациях.

Таблица 5

Сравнение затрат

Наименование затрат	ООО «СТЦ»	Сторонняя организация
Амортизационные отчисления	506,22	600,2
Основная заработная плата	1125	1200
Дополнительная заработная плата	123,75	120
Общепроизводственные расходы	1350	1250
Страховые взносы	387,11	400
Транспортные расходы	-	$3\ 631,2 \cdot 0,2 = 726,24$
Прочие затраты	69,56	61
Итого	3 568,06	4 357,44

Транспортные расходы зависят от итога затрат и равны 20%.

Экономия при калибровке мультиметра на предприятии составит 789,38 руб. в расчете на одну проведенную калибровку мультиметра за счет отсутствия транспортных расходов на доставку мультиметра.

Метролог-поверитель работает в специально оборудованной лаборатории. Условия, при которых могут проводиться метрологические мероприятия, описаны в НТД. Установка находится в помещении, обеспечивающем нормальные рабочие условия.

В ходе работы была обоснована новая методика калибровки цифрового мультиметра U1233A по погрешности измерения постоянного и переменного тока и напряжения, сопротивления.

В общей части работы было определено, что мультиметр U1233A предназначен для измерения постоянного и переменного тока, напряжения и сопротивления. Было изучено расположение элементов управления, а также описаны метрологические и технические характеристики.

В специальной части работы была разработана методика калибровки мультиметра U1233A, структурная схема соединения калибровки мультиметра. Также были расписаны операции калибровки и методика ее выполнения.

В заключительной части работы были рассчитаны затраты на проведение калибровки мультиметра, а также было произведено сравнение затрат калибровки на самом предприятии ООО «СТЦ» и в сторонней организации. Экономия при калибровке мультиметра на предприятии составит 789,38 руб.

Библиографический список

1. ГОСТ 8.409-81. Государственная система обеспечения единства измерений «Омметры. Методы и средства поверки». URL: <http://docs.cntd.ru/document/12000146550> (дата обращения: 01.02.2019).

2. ГОСТ 8.497-83. Государственная система обеспечения единства измерений «Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004502> (дата обращения: 01.02.2019).

3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006034> (дата обращения: 02.02.2019).

4. Государственный реестр средств измерений. URL: http://www.fundmetrology.ru/10_tipy_si/11/7list.aspx (дата обращения: 06.03.2019).

5. Ручные приборы. Ручные 3,5-разрядные цифровые мультиметры серии U1230. URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/289389013> (дата обращения: 08.02.2019).

6. Калибраторы многофункциональные Fluke 5522A. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/51160-12-fluke-5522a-5520a-54324> (дата обращения: 25.02.2019).

УДК 62-8

И. Д. Белик

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

В. О. Смирнова

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АВИАЦИЯ И ЭКОЛОГИЯ

На сегодняшний день авиация достигла своего апогея и продолжает стремительно набирать обороты. Каждый день сотни тысяч людей по всему миру выбирают этот вид транспорта для передвижения. Люди перевозят грузы, почту, путешествуют, работают, используя авиацию как основной вид транспорта, ведь благодаря ему всего за несколько часов можно преодолеть расстояние от Москвы до Рима, от Санкт-Петербурга до Берлина и т.д. Авиация это не только скоростной вид транспорта, но и, безусловно, удобный, ведь нет необходимости прокладывать самостоятельно маршрут, делать множество остановок и пересадок в неизвестных местах, таская за собой огромную сумку. Достаточно просто приобрести в кассе билет, все остальное за вас сделает авиакомпания.

Но существует и обратная сторона медали, над которой мало кто задумывается: каждый день самолеты совершают более 50 тыс. рейсов по всему миру. За год самолеты перевозят свыше 5 млрд человек, и это не может пройти бесследно. В связи с этим актуальным является вопрос об экологическом влиянии авиации на атмосферу Земли.

В данной работе мы проанализируем влияние авиации: шумовое загрязнение окружающей среды, изменения аэрозольного и газового состава атмосферы.

Критических зон воздействия авиации три: приземный слой атмосферы, где важна аэродромная эмиссия, верхняя тропосфера на высоте около 10 км, на которой проходит крейсерский полет гражданских самолетов, нижняя стратосфера (15–22 км), где должен проходить крейсерский полет сверхзвукового транспорта в будущем.

В приземном слое атмосферы влияние аэродромной эмиссии способно негативно сказаться на здоровье людей. В верхней тропосфере выбросы авиадвигателей могут влиять на изменение климата. В нижней стратосфере возможно истощение озонового слоя вследствие воздействия авиационной эмиссии. Загрязнение воздушной среды происходит в результате сжигания авиационного топлива.

Выхлопные газы, или эмиссия загрязняющих веществ (ЗВ), выбрасываются в атмосферу авиационными двигателями. При ежегодном мировом увеличении пассажиропотока в среднем на 10% процесс эмиссии приобретает все большее значение.

Полнота горения авиационного топлива и качество и количество отработавших газов летательных аппаратов зависят от режима работы двигателя, а также от качества используемого топлива. В отработавших газах содержатся соединения серы, азота, тяжелые металлы, галогены и др.

Поскольку самые нестабильные нагрузки на двигатель происходят на территории авиационного комплекса (движение по рулежным дорожкам, взлеты, посадки и др.), там же происходят выбросы большого количества отработавших газов различного качества, преимущественно продукты неполного горения, в которых содержится существенно больше вредных веществ, чем в продуктах горения при стабильной работе двигателя.

Происходит накопление тяжелых металлов в почве, изменяется состав воды и воздуха на прилегающих территориях. Природа теряет гомеостатическое развитие и не успевает восстанавливаться, что в свою очередь сказывается на здоровье населения. Ослабевает иммунитет, появляются эндемические заболевания в связи с недостатком или избытком необходимых для жизнедеятельности организма химических элементов, связанных со спецификой загрязнения среды обитания человека.

Основным видом топлива в авиации является керосин. Около 70% выбросов авиационных двигателей, работающих на авиакеросине, приходится на углекислый газ (CO_2) и около 30% на водяной пар (H_2O), которые являются парниковыми газами. Вступивший в действие в феврале 2006 г.

Киотский протокол регулирует выбросы парниковых газов (CO₂, N₂O, CH₄, HFCs, PFCs, SF₆), не контролируемых Монреальским протоколом, и предусматривает снижение выбросов парниковых газов на основе действия рыночных механизмов.

Образующиеся в авиадвигателях продукты сгорания содержат также NO_x, CO, несгоревшие углеводороды C_xH_y (CH₄, C₂H₆ и др.), полициклические ароматические углеводороды (бенз(а)пирен), оксид серы (IV), твердые частицы (сажа), другие химические соединения, содержание которых составляет порядка 1%.

Научные данные по влиянию авиации на экологию, представленные по запросу ИКАО, опубликованные в 4-м Оценочном докладе Межправительственной комиссией по изменению климата в 2007 г., свидетельствуют о следующем:

- конденсационные следы воздушных судов в 2005 г. составили 3% от всего антропогенного радиационного воздействия;
- выбросы двуокси углерода авиационными двигателями составили приблизительно 2% от всех антропогенных выбросов в мировом масштабе.

В 2011 г. суммарные выбросы CO₂ мировыми авиакомпаниями оказались на уровне 676 млн т, что соответствует 2% от 34 млрд т, произведенных в результате антропогенной деятельности.

В настоящее время расширение городов приводит к тому, что жилая застройка вплотную примыкает к авиатранспортным предприятиям. Даже несмотря на рост цен на авиационное топливо, имеет место положительная динамика в развитии рынка авиационных перевозок. Дополнительно существующие тенденции ужесточения экологических норм для воздушных судов гражданской авиации вынуждают авиационный промышленный сектор искать новые технологии и решения для удовлетворения настоящих и перспективных требований.

В сложившейся ситуации параллельно с разработкой и исследованием новых методов снижения негативного воздействия авиации на окружающую среду необходимо обладать корректным инструментом для самой оценки этого воздействия. Таким образом, задача разделяется на два направления: эмиссия загрязняющих веществ и шумовое воздействие.

САМОЛЕТОЦЕНТРИРОВАННАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

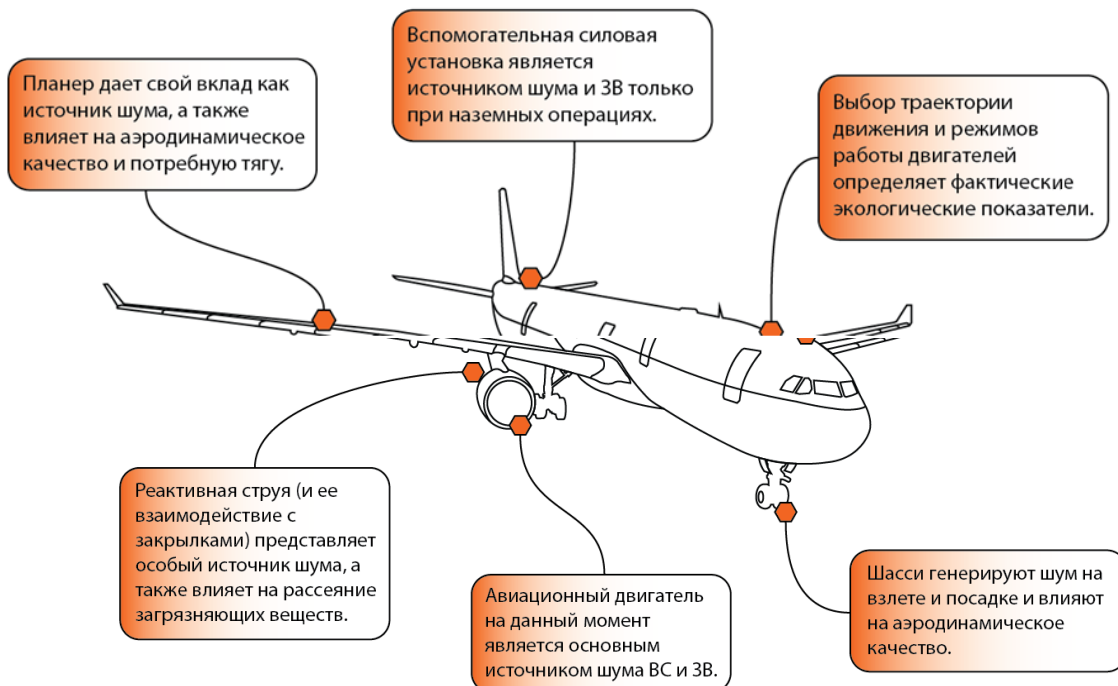


Схема предлагаемого самолетоцентрированного подхода

Оба эти направления анализируются совместно в предлагаемой самолетоцентрированной модели (см. рисунок). Концепция данного подхода заключается в том, что при оценке экологических параметров воздушного судна рассматривается самолет в целом, а не отдельно авиационный двигатель как, например, источник выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов. В этом случае даже при рассмотрении различных типов воздушных судов с одними и теми же установленными авиационными двигателями инвентаризация выбросов загрязняющих веществ, равно как и шумовые характеристики, будут специфичными для каждого отдельного типа.

Библиографический список

1. Негативные экологические последствия эмиссий авиадвигателей воздушных судов гражданской авиации московского авиационного узла / С. Х. Солтанов [и др.] // Агрехимия и экология. Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты. Вып. 23. М.: РАЕН, 2016. С. 137–141.

2. *Пожидаева, М. В.* Влияние авиации на экологию / М. В. Пожидаева // *Фундаментальные проблемы науки*. В 4 ч. Ч. 4. Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С. 221–222.

3. *Копьев, В. Ф.* Учет влияния новых типов воздушных судов на экологическую ситуацию / В. Ф. Копьев, А. Г. Мунин, Ю. В. Медведев // *Авиационная и ракетно-космическая техника*. М.: ЦАГИ, 2012.

4. Международная организация гражданской авиации / 36-я сессия ассамблеи «Охрана окружающей среды» – «Деятельность ИКАО в связи с гражданской авиацией и окружающей средой». Монреаль, 18–28 сентября 2007 г.

УДК 620.171.2

А. Р. Матросова

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

А. С. Коновалов

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

РАЗРАБОТКА СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ НА КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Композиционный материал (КМ) – это материал, состоящий из двух или более компонентов (отдельных волокон или других армирующих составляющих и связующей их матрицы) и обладающий специфическими свойствами, отличными от суммарных свойств его составляющих.

Преыдушие исследования показали, что изделия из КМ, используемые в различных отраслях промышленности, должны обладать высокими прочностными свойствами. Существуют различные пути достижения высокой прочности КМ. Реальными путями достижения высоких прочностных свойств является повышение степени армирования КМ и разработка их оптимальной структуры.

Данная работа посвящена исследованию параметров строения, структуры и характеристик прочностных свойств КМ с различной структурой и степенью армирования.

На первом этапе были выработаны образцы изделий из КМ. Изготовление образцов осуществлялось с применением различных партий эпоксидно-диановой смолы, произведенной в соответствии с ТУ 2225-154-05011907-97. Использованный метод формования позволил получить образцы изделий с заданными параметрами строения и структуры. Были выработаны изделия как без армирования, так и с различной степенью армирования углеродной тканью.

Изготовление КМ начинается с того, что готовится форма для пластин. Она представляет собой вытянутый прямоугольник. Этот прямоугольник покрывается воском, чтобы потом можно было легко вынуть пластинку. Слой должен быть ровный.

Затем готовится смесь из эпоксидной смолы и отвердителя. Смесь выливается в форму и равномерно распределяется. Приготовленную смесь оставляют застывать на 1,5–2 ч., а потом на сутки.

На втором этапе работы были экспериментально определены параметры строения, структуры и характеристики прочностных свойств полученных изделий из КМ.

На третьем этапе разрабатывался стандарт организации на КМ для различных элементов конструкций.

Результаты исследований показали: прочностные свойства изделий определяются степенью армирования и структурой КМ; при отборе составных частей связующего компонента из различных партий эпоксидно-диановой смолы и отвердителя прочностные свойства изделий существенно различаются.

Библиографический список

1. ГОСТ 3813-72. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении.

2. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

3. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. Дж. Любина; пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта. М.: Машиностроение, 1988. 448 с.

УДК 532.546

А. А. Баранова

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

Н. А. Жильникова

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

В связи с резким ухудшением экологической обстановки на всей Земле решение проблем защиты растительного и животного мира от техногенного воздействия становится настоящей необходимостью. Немаловажной составляющей этой проблемы является ликвидация последствий разливов нефти в результате аварийных ситуаций различного масштаба и попадание нефти и нефтепродуктов в водную среду [1].

В последние десятилетия в Российской Федерации добыча нефти интенсивно возрастает, однако растет и количество аварий, связанных с разливом нефти. Разлив нефти может произойти как при ее добыче, так и при транспортировке судами или по нефтепроводу.

Нефть, попавшая в водный объект, растекается и перемещается по его поверхности, претерпевая при этом ряд химических и физических изменений. Эти изменения начинаются непосредственно с момента попадания ее на поверхность воды и продолжаются, в зависимости от типа разлившейся нефти и гидрометеорологических условий, в течение почти всего периода пребывания нефти на воде [2].

Невозможно заранее предугадать точное место, время и объемы разливов нефти. Объем вытекшей нефти может оказаться значительным даже при относительно небольших повреждениях, если они остаются незамеченными в течение длительного времени [3]. Каждый из объектов транспортировки нефти представляет потенциальную опасность, связанную с возникновением чрезвычайных ситуаций (ЧС), обусловленных разливами нефти и нефтепродуктов.

По информации Федерального агентства морского и речного транспорта, износ большинства из них составляет свыше 70%. Территория транспортировки и перевалки нефти и нефтепродуктов в обозримом будущем не станет экологически безопасной вследствие сложности и затратности технических и организационных мероприятий, поэтому необходима разработка планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (ПЛРН).

Для планирования действий по предотвращению и ликвидации возможных разливов нефти необходимо уметь прогнозировать последствия этих разливов: возможные маршруты стекания и места скопления нефти, воздействие нефти на природные объекты (реки, озера, леса и др.), население (колодцы с питьевой водой, пастбища, сельскохозяйственные угодья и др.). Информация о поведении и характере пятна в том или ином случае позволяет максимально быстро запустить механизм борьбы с разливом, тем самым сокращая количество разлившегося нефтепродукта и уменьшить экологический ущерб [4].

Моделирование разливов нефти весьма проблематично из-за большого числа факторов, влияющих на передвижение и эволюцию пятна нефти в водной среде. К ним относятся изначальный объем и физико-химические характеристики пятна нефти, характеристики региона разлива, состав и циркуляция воды под пятном нефти и вокруг него, ветровое поле над поверхностью разлива. Некоторые физико-химические и биологические процессы:

- перенос под действием ветра и течений;
- растекание под действием сил плавучести и турбулентной диффузии;
- испарение;
- эмульгирование / образование мусса;
- проникновение нефти в водную толщу / диспергирование;
- растворение;
- фотоокисление;
- биодеградация;

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

- изменения плотности и вязкости остатка на поверхности;
- осаднения на берега и дно;
- механическая или иная очистка водного объекта.

К внешним факторам, воздействующим на разлитую нефть, относятся:

- скорость ветра;
- высота волны;
- скорость течения;
- радиационный теплообмен на границе «пленка разлитой нефти – воздух»;
- температура воды и воздуха.

Все эти процессы и характеристики взаимосвязаны и должны рассматриваться вместе для получения более точных оценок поведения нефти [2].

Целью данной работы является получение оценок растекания пятен дизельного топлива по поверхности Балтийского моря при аварийных разливах при штормовом ветре. Моделирование зон распространения разливов нефтепродуктов проведено специализированным программно-аппаратным комплексом «SPILLMOD», разработанным ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова». Объем аварийного разлива – 32,6 т, а место аварии – акватория Балтийского моря (одна точка на рис. 1 – в районе работ). Минимальная толщина нефтяной пленки (пленки дизельного топлива) на поверхности воды, представляющая опасность для окружающей среды, в настоящее время не определена никакими нормативными документами, поэтому при моделировании распространения нефти за разумный критерий окончания расчетов можно принять толщину пленки менее $2 \cdot 10^{-3}$ мм (2 мкм).

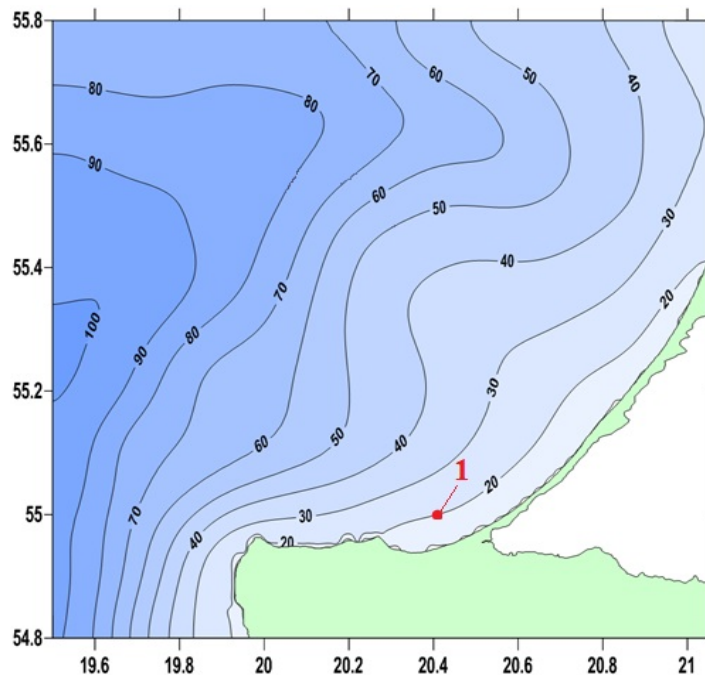


Рис. 1. Глубины в районе работ в Балтийском море:
точка 1 – предполагаемое место аварийного выброса 32,6 т дизельного топлива

Результаты анализа траекторий распространения аварийного разлива в районе работ показывают, что пятна топлива могут достигать береговой зоны за первые сутки после аварии (рис. 2).

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

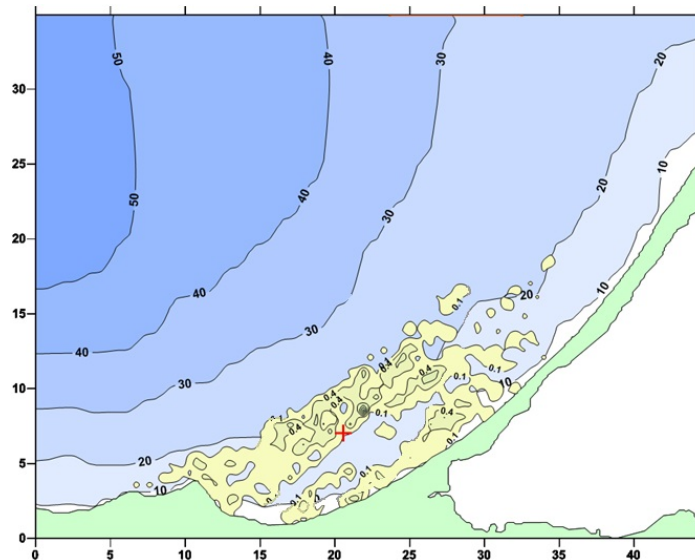


Рис. 2. Толщина пленки дизельного топлива (m^{-6}) на поверхности воды акватории Балтийского моря после аварии судна (рис. 1, точка 1) в условиях штормового ветра (выброс 32,6 т, длительность 1 ч.) через 6 ч. от начала выброса (масштаб по осям в километрах)

Согласно результатам анализа траекторий распространения аварийного разлива с учетом эволюции дизельного топлива, достичь берега могут лишь пятна из тонких пленок дизельного топлива (толщиной менее 0,0001 мм) лишь в малом количестве и объеме. Такая толщина нефтяной пленки (пленки дизельного топлива) на поверхности воды не будет представлять опасность для окружающей среды, так как она ниже разумного критерия толщины пленки $2 \cdot 10^{-3}$ мм (2 мкм), принятого в практике расчетов при моделировании распространения нефти.

Масштаб воздействия разлива на водную среду и побережье зависит от интенсивности процессов выветривания дизельного топлива. Главными составляющими процесса выветривания топлива являются процессы испарения его летучих фракций в атмосферу и поток капель с поверхности в водную толщу за счет процессов обрушения волн и вертикального перемешивания. Минимальное выветривание соответствует периодам со слабыми скоростями ветра и практически полностью определяется испарением летучих фракций из пятна пролитого топлива. Максимальное выветривание происходит при сильном ветре, когда большая часть топлива попадает в виде капель в водную толщу.

Интенсивность и конечный результат испарения фракций из нефтяного слика зависят прежде всего от температуры поверхности моря и свойств нефти. Фракции с температурой кипения до 150 °С испаряются в течение первых суток, чуть позже испаряются фракции с температурой кипения до 200 °С. В летний и осенний периоды интенсивность испарения выше.

При больших скоростях ветра обрушение волн и разрушение поверхностной пленки на капли и забивание капель в водную толщу приводит к исчезновению разлива нефти с поверхности моря, если только нефть не имеет склонности к образованию эмульсии типа «вода в нефти».

Масштаб воздействия разлива на водную среду и побережье зависит от интенсивности гидрометеорологических процессов и процессов выветривания дизельного топлива.

Масштаб вероятного поражения объектов на акватории и побережье зависит в первую очередь от объема аварийного сброса дизельного топлива. Для крупных разливов топлива формирование зоны поверхностного загрязнения происходит продолжительное время за счет гидродинамического растекания. В случае малых разливов зона загрязнения формируется за счет процессов турбулентной диффузии.

Полученные оценки растекания пятен дизельного топлива по поверхности воды Балтийского моря в случае аварийных разливов при штормовом ветре показали, что масштабы растекания пятен дизельного топлива будут малыми, причем толщина пленки дизельного топлива на поверхности моря в основном не будет превышать 0,001 мм и представлять опасность для окружающей среды. Это обстоятельство и конкретные особенности пространственно-временной картины развития аварий-

ной ситуации, отраженные в полученных материалах моделирования, позволяют сделать выбор обоснованной стратегии борьбы с разливом дизельного топлива.

Библиографический список

1. *Каменщиков, Ф. А.* Нефтяные сорбенты / Ф. А. Каменщиков, Е. И. Богомольный. М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 268 с.
2. *Маценко, С. В.* Расчетно-аналитические методы определения количественного и качественного состава сил и средств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в морских портах и на открытых акваториях / С. В. Маценко. Новороссийск: ЮжНИИМФ, 2017. 476 с.
3. *Шарапов, М. Э.* Численное моделирование разлива при разгерметизации трубопровода / М. Э. Шарапов, В. А. Алексеев // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 16. С. 223.
4. *Вицин, Д. Ю.* Моделирование аварийного истечения нефтепродуктов на проницаемой поверхности / Д. Ю. Вицин, В. А. Алексеев // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 4. С. 265.

УДК 658.567.1

А. В. Быстрова

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

В. О. Смирнова

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ К ВВЕДЕНИЮ РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА ТБО

В последние годы проблема правильной утилизации отходов поднимается все выше в списке глобальных тем. Ежегодно в Санкт-Петербурге производится 11,1 млн м³ отходов, большая часть которых не перерабатывается. В Москве и Московской области эта цифра достигает 27,5 млн м³ в год. Таким образом, столица России занимает первое место среди самых грязных городов нашей страны, а Петербург – почетное второе. Однако, пожалуй, это не та статистика, которой стоит гордиться.

Так что же делать с такими объемами отходов? Во многих странах введен отдельный сбор мусора и дальнейшая его переработка. Например, в Швеции 99% твердых бытовых отходов (ТБО) утилизируются, и лишь 1% – предметы, с которыми ничего нельзя сделать, – отправляется на свалку. В России ситуация кардинально другая: 90% отходов захораниваются на полигонах, 6% сжигаются и всего 4% отправляются на переработку [1].

Однако не только сам факт переработки ТБО влияет на количество сортируемых отходов, также важно и отношение людей к данной проблеме. Например, пишут: «...перед нами типичный сортировочный мусороприемный пункт, открытый в соответствии с государственной программой. Она предписывает размещать один такой пункт в расчете на 10 тыс. населения. Сегодня на территории Австрии их насчитывается более 1 400. Мы увидели очень много детей, которые пришли сюда вместе с родителями» [2]. Можно показывать правильный пример своим детям, чтобы и они в будущем тоже продолжили разделять ТБО, однако меры против нарушителей также должны быть.

«Сортировать мусор в Швейцарии является законом для каждого жителя, невыполнение которого карается крупным штрафом. За соблюдением закона следит специально созданное подразделение – «мусорная полиция», имеющая широкие полномочия, вплоть до привлечения к судебной ответственности» [3]. Или, допустим, в Республике Сингапур: «Экологическое воспитание граждан происходит посредством системы ужесточения штрафов. Помимо того что данная система штрафования узаконена, так еще существует специальная служба, которая постоянно контролирует нарушения. Например, штраф за выброшенную бумажку составляет около 500–700 долларов США» [4].

В чем же заключается проблема такого мизерного количества перерабатываемых отходов в России и готово ли население к повсеместному разделению ТБО? Для того чтобы это выяснить, автор провел анкетирование студентов, проживающих в Санкт-Петербурге, в возрасте 18–20 лет. В опросе приняло участие 206 человек.

Первый вопрос, который хочется задать, когда начинаешь думать о подобных проблемах: «Готов ли человек менять свои устои, чтобы большее количество отходов перерабатывалось, а не сжигалось или было захоронено?».

На рис. 1 показано, что 85,9% (177) опрошенных считают проблему сортировки и правильной утилизации ТБО важной. Всего 26 человек признают этот вопрос неактуальным, а оставшиеся трое сказали, что это им безразлично. Из этого следует, что большая часть людей готова к разделению отходов, в чем же тогда состоит проблема?

Раз стольких людей заботит сортировка и утилизация отходов, то, быть может, уже все разделяют ТБО дома?

На рис. 2 можно увидеть, что это, к сожалению, не так. Из 206 ответивших всего лишь 28 человек сортируют ТБО в своих квартирах. Это 16,8% от тех, кто заинтересован в проблеме. Тогда какие условия нужно создать, чтобы остальные 83,2% тоже начали сортировать отходы?

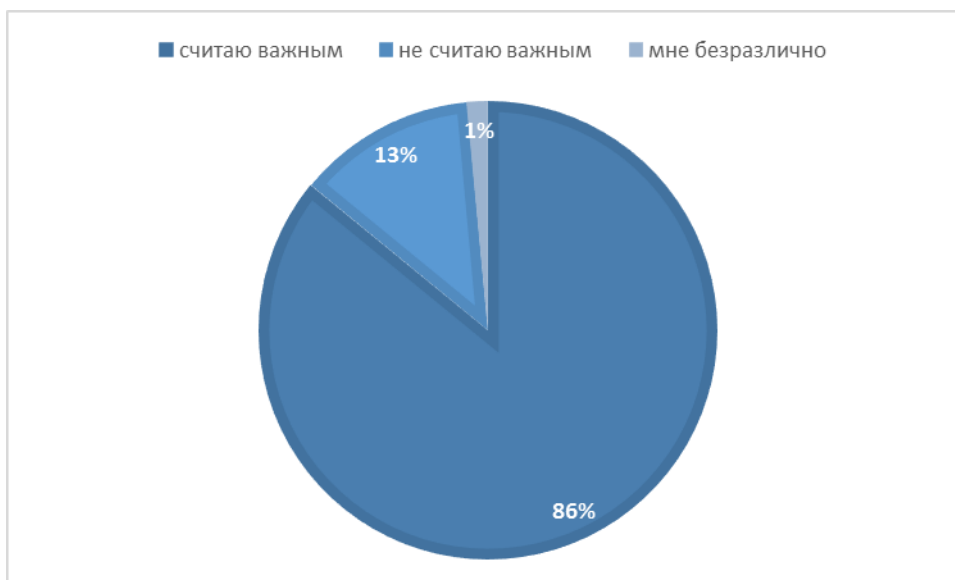


Рис. 1. Результаты ответов на вопрос «Как вы относитесь к проблеме сортировки и правильной утилизации ТБО?»

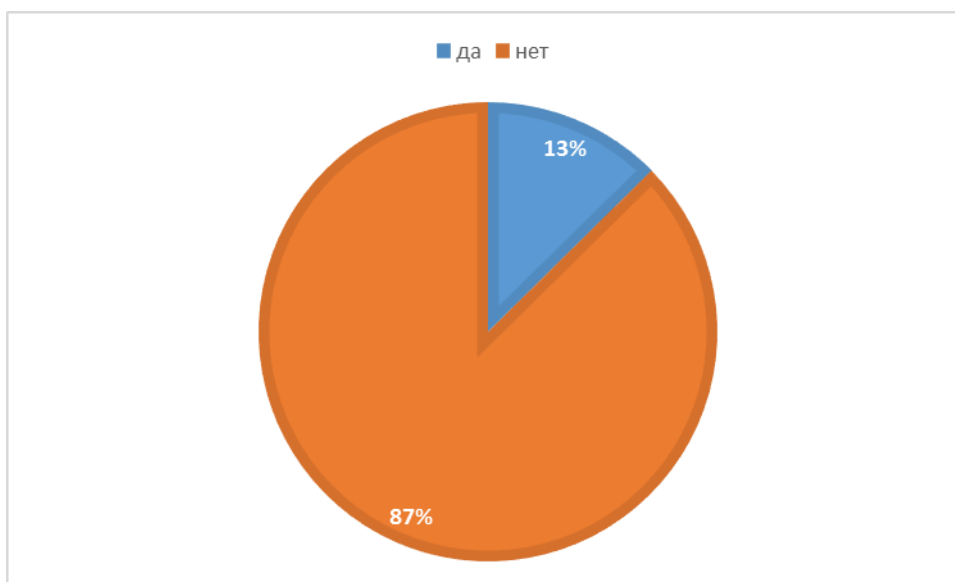


Рис. 2. Результаты ответов на вопрос «Сортируете ли вы дома ТБО?»

Из рис. 3 видно, что 121 человек согласен на отдельный сбор отходов, если контейнеры или пункты приема будут находиться в их дворе, еще 60 готовы заниматься сортировкой при условии, что они будут оборудованы в радиусе нескольких близлежащих домов. Три человека, однако, все равно не хотят этого делать. Из чего следует, что, создав необходимые условия, можно значительно увеличить количество людей, разделяющих отходы.

Также очень важно понять, почему же люди не хотят сортировать ТБО, ведь отсутствие поблизости пунктов приема, наверное, не единственная причина. Отвечая на вопрос, можно было выбрать из нескольких вариантов. Из рис. 4 видно, что 153 человека считает, что все-таки отсутствие в шаговой доступности контейнеров является главной проблемой и причиной, по которой можно не сортировать отходы. К слову, 71 человек именно по причине простоты складывает отходы в одно место, не имея желаний или, скорее, сил рассортировать отходы. Многие (76 человек) считают, что это не имеет особого смысла, ведь потом все отвезут на одну свалку. Это мнение ошибочно, так, «На сегодняшний день в России функционирует 243 мусороперерабатывающих завода, 50 мусоро-

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

сортировочных комплексов и 10 мусоросжигательных заводов. При этом свалками заняты семь миллионов гектаров земли» [5]. 34 ответивших думают, что разделение дома отходов займет слишком много места. К счастью, если правильно организовать пространство или взять контейнеры среднего объема, то это займет столько же или чуть больше места, чем было отведено под мусорное ведро.



Рис. 3. Результаты ответов на вопрос «При каких условиях вы бы стали сортировать ТБО?»



Рис. 4. Результаты ответов на вопрос «По каким причинам вы не разделяете ТБО?»

Проводя данное исследование, также хотелось выяснить, что готовы сортировать или уже сортируют люди. Большая часть проголосовала за макулатуру, пластик и опасные отходы. Чуть меньше людей ответили «стекло» и «старая одежда». Металл (упаковки, банки) отметили всего лишь 82 человека. Из чего можно сделать вывод, что стоит в первую очередь заняться организацией пунктов приема бумаги, пластика и опасных отходов. Кстати, во многих торговых центрах, магазинах, школах стоят коробки для сбора батареек, ртутных ламп и градусников. Почему же нет такой

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

массовой организации для других видов ТБО? Это был, пожалуй, один из главных вопросов в анкете. Обратимся к рис. 6.

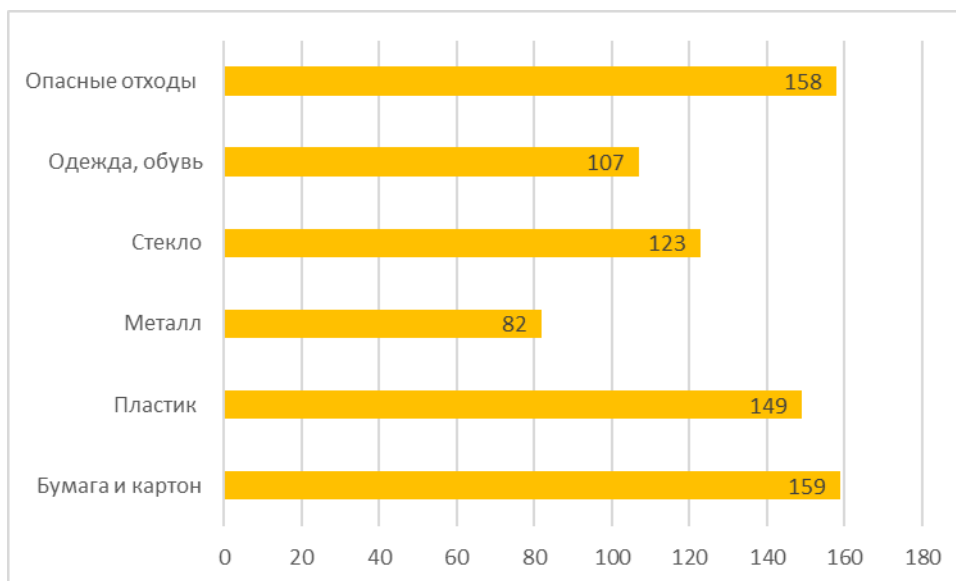


Рис. 5. Результаты ответов на вопрос «Какие виды отходов вы бы могли или уже сортируете дома?»

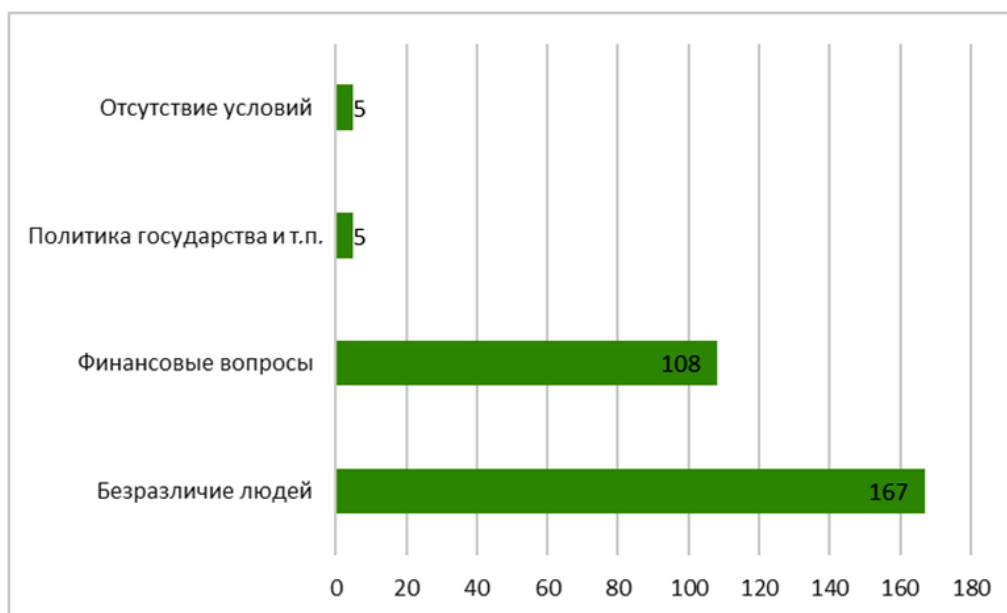


Рис. 6. Результаты ответов на вопрос «В чем вы видите причину проблемы?»

Из предложенных вариантов большая часть (167) опрошенных выбрала безразличие людей, 108 человек посчитали финансовые вопросы причиной неразвитости системы раздельного сбора ТБО. Были также те, кто считает причиной безразличие властей, политику государства, отсутствие условий и инфраструктуры. Пожалуй, государство, как организатор общественной жизни страны, должно руководить процессом и создавать условия, при которых гражданам будет комфортно сортировать отходы.

31 декабря 2017 г. Президентом был подписан 503 Федеральный закон, который закрепил в России раздельный сбор ТБО. Так, по подсчетам чиновников, за 10–15 лет закон будет реализован полностью. Однако ситуация не изменится, если не работать над мировоззрением самих граждан. Как сказал М. Ганди, «ты должен сам изменить то, что хочешь видеть в изменившемся мире». По-

этому людям стоит работать в слаженной команде, и тогда наступит такой момент, что разделение ТБО, его переработка будут повсеместными.



Рис. 7. Результаты ответов на вопрос «Что для вас наиболее значимо в решении проблемы утилизации отходов?»

Последний вопрос анкеты был посвящен важности утилизации отходов. 179 человек отметили охрану окружающей среды, 20 решили, что значима прибыль, которую они могут получить. Были те, кто выбрал оба варианта, меньшинство писало об экономии ресурсов, их правильном использовании, а также о чистоте окружающей среды. Получается, что в решении проблемы утилизации отходов значимо практически все.

В заключение можно сделать вывод, что при правильной организации процесса население будет готово к введению раздельного сбора ТБО. Об этом нужно помнить, поскольку и вопрос раздельного сбора, и будущая переработка отходов очень актуальны в наше время. И нужно больше задумываться о том, как можно решить эту проблему. К примеру, если поблизости нет пунктов приема, можно собирать ТБО коллективно, всем домом, а после отвозить все и сразу. Можно перейти с одноразовых пластиковых пакетов на текстильные сумки и мешочки. Это поможет уменьшить количество отходов, что тоже является решением проблемы захоронения отходов. Существует множество и других вариантов, главное не забывать, как это важно и нужно для всех нас, живущих на Земле сейчас, и для будущих поколений.

Библиографический список

1. Фаткуллина, А. О. Современные проблемы утилизации ТБО в России и других странах / А. О. Фаткуллина // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем (Молодежная секция). СПб.: ГУАП, 2018. С. 231–233.
2. Вепринцев, И. В. Европейский подход к отходам / И. В. Вепринцев // Твердые бытовые отходы. 2006. № 10. С. 34–39.
3. Свиточ, Н. А. Каждому мусору – свой контейнер. Опыт зарубежных стран / Н. А. Свиточ // Твердые бытовые отходы. 2011. № 3 (57). С. 74–79.
4. Овчинникова, А. Е. Пути решения утилизации бытовых отходов // Сб. тр. XX Всероссийской науч.-практич. конференции. Симферополь: Типография «Ариал», 2018. С. 81–85.
5. Мусорная реформа: первые итоги. URL: <https://recycling-m.ru/musornaya-reforma-pervyie-itogi-regionyi-okazalis-ne-gotovy-i-k-novoj-sxeme-vyivoza-i-utilizaczii> (дата обращения: 06.02.2019).

УДК 67.08

К. И. Зартдинова, П. Ю. Ефимова, М. Э. Анисимов

студенты кафедры инноватики и интегрированных систем качества

В. О. Смирнова

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Выходя на улицу каждый день несложно увидеть большое количество мусора. Его убирают, вывозят, но заметить какой-нибудь фантик или окурочок в поле нашего зрения можно всегда. И если их никто не уберет, то они так и останутся лежать на земле, разлагаясь и отравляя почву.

В последнее время развернулась активная кампания по борьбе с мусором, активизировались народные движения, появились государственные программы. Весь мир задумался о проблемах экологии и будущего планеты. В лидерах на данный момент Швеция, Германия и Швейцария. Они активно развивают движения переработки и вторичного использования отходов. России в этом плане стоит брать с них пример и так же стремиться к максимально экологичному производству.

Сейчас разрабатываются все более инновационные методы борьбы с мусором, но основными пока остаются свалки, мусоросжигающие заводы и переработка.

На территории России расположено огромное число мусорных остатков. По статистике, в одном мегаполисе можно найти 5–10 крупных свалок. И если их разрастание не прекратить, то они очень скоро дойдут до городов.

Однако мусоросжигательные заводы являются не меньшим злом. Мнение о том, что раз мусор сожгли, то его больше нет, и ничего нам не вредит, ошибочно. Действительно, мы уничтожили физическое представление мусора, вот только все химические элементы остались, и они продолжают влиять на окружающую среду. В процессе сжигания мусора образуется огромное количество дымовых газов, крайне опасных для человека. Тяжелые металлы и диоксины с дымом попадают в воздух.

Переработка отходов на данный момент является очевидным и единственно правильным выходом из сложившегося положения. Это очень сложный процесс, требующий больших затрат и ресурсов, но приносящий очевидный результат и пользу в борьбе с загрязнением.

В данной статье мы хотели бы обратить ваше внимание именно на работу мусоросжигательных заводов (МСЗ): рассказать об их устройстве, принципах действия и, возможно, изменить мнение об их мнимой безопасности.

Алгоритм работы МСЗ

1. Бытовые отходы доставляются на завод мусоровозами. Это мусор от предприятий или от сортировочных станций.
2. Грузовики взвешивают, выгружают.
3. Мусор сортируют, избавляют от высокоопасных предметов.
4. Отходы больших размеров предварительно измельчают, а затем все сжигают в специальных печах. Температура там достигает 1000 °С. При такой обработке уничтожаются все органические вещества.
5. Во время утилизации выделяется газ, который обезвреживают с использованием многоступенчатой системы фильтрации. В воздух попадают водяной пар, азот и углекислый газ. Все, что остается после сжигания, отправляется как вторичное сырье на предприятия строительства или металлургические заводы.

Польза и вред МСЗ

Принцип работы заводов подразумевает наличие большого количества фильтров для очистки выпускаемого пара. Около 2/3 всех расходов МСЗ должно приходиться на очистную систему. При

таким подходе в воздух совсем не попадают вредные вещества. Поэтому МСЗ без вреда для окружающей среды избавляют планету от больших полигонов мусора и отходов.

Но на практике это не всегда так. Предприимчивые руководители предприятий экономят, уменьшая затраты на обслуживание систем фильтрации, которые не справляются с количеством вредных веществ, образующихся при сжигании мусора.

Все вредные выбросы попадают в воздух, наносят непоправимый вред экологии. Возле подобных заводов наблюдается рост аллергических реакций, онкологических заболеваний.

При сжигании остается много отходов, которые должны отправляться на утилизацию, но недобросовестные предприниматели иногда их просто выбрасывают на окраинах городов. Вот почему пользу или вред МСЗ рассматривают в конкретном случае.

Что касается экономического вопроса, то тут мнения разделились. С одной стороны, вырабатываемая в процессе сжигания энергия обеспечит нужды самого предприятия и близлежащих зданий. Но в России такое количество энергии необходимо лишь в холодное время года. Возникает вопрос: а куда ее тратить летом? При этом подсчеты некоторых экспертов утверждают, что производство энергии из отходов почти в три раза дороже, чем производство традиционным способом.

Выбросы (диоксины и фураны, CO₂ и др.)

Когда речь идет о МСЗ, можно услышать, что это источники диоксинов и фуранов. Оба вещества из состава «грязной дюжины» Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях. Их производство запрещено, а уровень содержания контролируется во многих странах, но при этом они повсеместно распространены.

В организм человека фураны и диоксины попадают вместе с едой, водой и воздухом. Опасность их заключается в том, что они накапливаются в организме. Сильнее всего от этого страдает печень, иммунная и нервная системы. Вероятно проявление признаков отравления на коже. Согласно исследованиям, при сжигании 1 кг отходов, в состав которых входит пластик, выделяется 40 мкг диоксинов.

CO₂ – углекислый газ. Это соединение также широко распространено в природе и негативно влияет на человека при высоких концентрациях, вплоть до повышения кислотности крови, ухудшения внимания, слабости, сонливости. При сжигании 1 т твердых отходов на МСЗ образуется 1 т углекислого газа.

Помимо указанных веществ также образуются оксиды серы, азота, соляная кислота, тяжелые металлы и дисперсионная пыль. Количество этих веществ колеблется от 4 до 8 м³ на 1 т.

Используемые технологии

При сжигании отходов на МСЗ применяют различные технологии. Классификация зависит от типа печей, используемых для этого процесса.

Слоевое сжигание. Самый древний способ сжигания твердых отходов, применяется зачастую для крупнофракционного и кускового мусора. Мусор подается на колосниковую решетку, чугунную или стальную, которая служит для поддержания слоя сжигаемых отходов. Сквозь нее продувается горячий воздух. Различают следующие разновидности этого способа:

- с применением неподвижной решетки;
- с применением неподвижного слоя отходов.
- с подвижной или неподвижной цепной решеткой.

К недостаткам этого метода относят низкую эффективность при работе с высокозольными отходами из-за блокировки дутьевых щелей спекающейся золой.

Данный метод также включает технологию кипящего слоя, но он подходит только для однородных отходов, то есть однородных по структуре. Такой мусор сжигают в специальных топках с применением высокотеплопроводного адсорбента (песка, крошки).

Пиролиз и газификация. Это похожие процессы, которые используют нагревание мусора в бескислородной среде. При таких условиях образуются газы или жидкости с высоким показателем удельной теплоты сгорания. Эти продукты используют как топливо. Метод пиролиза и газификации – один из самых перспективных, поскольку подходит даже для утилизации опасных отходов.

Дожигатели диоксинов. В результате сжигания отходов образуются летучие газы с повышенным содержанием диоксинов. Чтобы понизить эту концентрацию до предельно допустимых значений, газы пропускают через специальную камеру. Температуру доводят до отметки 1250 °С. При таких условиях диоксиновая решетка разрушается и содержание диоксинов в выбросах значительно уменьшается.

Очистка. В настоящее время разработано большое количество способов очистки газов от загрязняющих веществ. Эти методы могут применяться по отдельности, но чаще их применяют комплексно. Самые распространенные способы:

- 1) абсорбционный (газ поглощается жидким растворителем);
- 2) адсорбционный (основной вспомогательный компонент – активированный уголь, самый распространенный метод защиты атмосферы от вредных веществ);
- 3) термокаталитический (универсальный метод очистки, менее распространен ввиду трудности, а также высокой цены применения);
- 4) озонный (хороший, но затратный метод очистки и дезодорации газовых выбросов МСЗ);
- 5) термическое дожигание (обезвреживание газов под воздействием высоких температур, позволяет очистить вещество на 99%).

Использование этих процедур по отдельности и комплексно при сжигании мусора не позволяет вредным веществам загрязнять атмосферу.

Примеры заводов в мире

Один из самых известных экологических зарубежных заводов – завод по переработке и сжиганию мусора Шпиттлау в Вене, расположенный прямо в центре столицы. Переработка мусора на заводе в Шпиттлау обеспечивает теплом 60 000 квартир. Каждый год через термообработку на предприятии проходит 250 000 т твердых бытовых отходов. Зола, остающаяся после сжигания мусора, используется в производстве искусственного песка или керамических и бетонных изделий, которые потом находят применение в строительстве. Важно отметить, что более двух третей площади завода в Шпиттлау занимают очистные сооружения. Именно они обеспечивают абсолютную безопасность предприятия для окружающей среды. Газ от термообработки отходов проходит эффективную трехступенчатую систему очистки, благодаря которой уровень примесей в паре сводится к нулю.

В настоящее время половина мусоросжигательных заводов России функционируют в Москве и Подмосковье. Их технологии устаревают, соблюдение параметров безопасности становится сложнее. По этой причине Россия запустила проект «Энергия из отходов», который подразумевает строительство четырех заводов в Москве и одного в республике Татарстан. Планируется, что мусор на эти заводы будет поступать уже отсортированным. Сжигать его будут при температуре 1260 °С, что уменьшает количество диоксинов и фуранов, а также снижает выбросы других вредных веществ. Отходы, оставшиеся после сжигания, будут подвергаться вторичной переработке, использовать при изготовлении стройматериалов. А тепловая энергия должна будет трансформироваться в электрическую.

В Санкт-Петербурге мусоросжигательный завод мощностью 350 000 т твердых бытовых отходов в год в рамках государственно-частного партнерства с правительством города планирует построить греческий консорциум Helector S. A. – Aktor Concessions S. A. – Aktor S. A. Как разъяснили на прошедших в начале июля 2018 г. слушаниях представители инженерной группы ООО «ИнтерСИТИ», занимающиеся подготовкой документов для греческого консорциума, из смешанного мусора будут изыматься некоторые фракции, после чего из отходов будет производиться топливо для дальнейшего сжигания, также отходы будут сжигать непосредственно на заводе с получением энергии. Раздельный сбор отходов перед направлением на сжигание не предусмотрен.

Факты о МСЗ:

- Типовой МСЗ на расстояние 5 км распространяет выбросы, которые естественным путем заражают окружающую среду дальше.
 - На расстоянии до 25 км возможно распространение опасных диоксинов.
 - Сжигание огромного количества отходов можно предотвратить. Бумага, стекло, металлы прекрасно перерабатываются во вторичное сырье. От сжигания данной категории отходов пользы мало. Получение возобновляемой энергии не обосновано.
 - Перерабатывающие комплексы, занимающиеся сортировкой отходов для вторичной переработки, задействуют до 25 раз больше персонала, чем МСЗ.
 - Содержание и обслуживание одного МСЗ государству обходится дорого. Выгоды практически нет из-за больших затрат на обеспечение безопасности завода в плане экологии.
 - Подсчитано, что только около 2% диоксинов остаются в почве прилегающих к МСЗ территорий. В Нидерландах, Франции и Бельгии из-за повышенного содержания диоксинов было запрещено употребление молока, полученного от коров, в рацион которых входила растительность с прилегающих к МСЗ территорий.
 - Сжигание приводит не к полному уничтожению отходов, а лишь к трансформации в другие виды – выбросы отходящих газов, летучую золу и шлак, которые в тех или иных количествах оказываются на прилегающих к заводу территориях. В случаях использования на заводе воды к перечисленным выше выбросам добавляются жидкие стоки.
 - Если суммировать все выбросы МСЗ, их объем превысит первоначальный. Какая бы система очистки ни использовалась, загрязняющие вещества продолжают поступать в атмосферу.
 - Полихлорбензолы: ГХБ может усиливать токсичность молока кормящих женщин, оказывает влияние на развитие плода, функционирование печени, иммунной системы, почек и центральной нервной системы. Наиболее чувствительны к его воздействию печень и нервная система.
 - Почти 100% ртути в газообразном состоянии выбрасывается в атмосферу, поскольку она не оседает на фильтрах, на частицах пыли и почти не остается в золе. Молекулярная ртуть может переноситься на большие расстояния.
 - Твердые частицы выбросов (менее 2,5 мк) вызывают астму, являются причиной повышенной смертности от заболеваний дыхательной системы и сердца. Даже самые современные системы очистки газов препятствуют выбросу лишь 5–30% таких частиц.
- Таким образом, строительство МЗС в Санкт-Петербурге приведет к необратимым последствиям, которые будут влиять на здоровье населения и окружающую среду.

Библиографический список

1. Экология и жизнь. URL: <http://www.ecolife.ru> (дата обращения: 06.02.2019).
2. Стоп-отходы. Мусоросжигательные заводы в России и за рубежом. URL: <https://stop-othod.ru/oborudo> (дата обращения: 06.02.2019).
3. Без отходов. Вред и польза мусоросжигательных заводов URL: <https://bezotxodov.ru/pererabotka/musoroszhigatelnyj-zavod> (дата обращения: 06.02.2019).
4. Экология урбанизированных территорий. URL: <http://www.ecoregion.ru/index.php?-razdel=eut> (дата обращения: 06.02.2019).
5. Idel. Реалии. URL: <https://www.idelreal.org/a/28553100.html> (дата обращения: 06.02.2019).
6. Алон-Ра. Чем опасны МСЗ. URL: <http://alon-ra.ru/opasnost-vred-musoroszhigatelnyj-zavod-msz.html> (дата обращения: 06.02.2019).

УДК 623.826

О. С. Зинкина

студент кафедры инноватики и управления качеством.

А. В. Чабаненко

старший преподаватель – научный руководитель

«МОРСКОЙ ОХОТНИК» (SEA HUNTER)

Проблема шпионажа в последнее время тревожит все страны мира, именно поэтому США разработало судно, способное распознать шпионские подводные лодки на большом расстоянии.

«Морской охотник» (Sea Hunter) – судно длиной 40 м, разработанное агентством Пентагона DARPA и оборонной фирмой Leidos. Оно предназначено для автономного плавания на большие расстояния и поиска подлодок. Первые тесты были направлены на определение его маневренности и оценки возможности избегать столкновений в судоходной зоне.

Впервые корабль спустили на воду 7 апреля 2016 г. Стоимость корабля – примерно 20 млн долл., а на программу по его разработке Пентагон выделил почти 120 млн долл.

Программа по созданию корабля включает в себя четыре этапа. В августе 2012 г. был завершен первый этап программы (на данном этапе определялась целесообразность его реализации, а также велись другие оценочные мероприятия). На второй и третий этапы отведено 36 месяцев, на четвертый, завершающий этап, отводится еще 18 месяцев. Речь идет об этапах разработки, постройки и демонстрационных испытаний экспериментального образца робота-катера (рис. 1).



Рис. 1. «Морской охотник» (Sea Hunter)

Характеристики «Морского охотника»:

- дальность плавания более 6 000 км;
- возможность функционирования на удалении до 3 000 км от места базирования;
- время автономной работы порядка 80 суток;
- водоизмещение 140 т;
- стоимость одного робота-катера будет составлять примерно 20 млн долл.;
- срок службы порядка 15 лет;
- скорость до 27 узлов.

В случае обнаружения подводной лодки, «Морской охотник» сближается с ней и передает данные о ее местоположении ближайшему военному кораблю (рис. 2). При этом он может следо-

вать за субмариной до тех пор, пока та не покинет район своего патрулирования или пока не будет уничтожена. Благодаря гидролокатору, обладающему системой активной подсветки, что позволяет повысить дальность его действия и точность работы, «Морской охотник» способен в открытую заниматься сканированием океана.

Следует отметить, что в отличие от большого количества беспилотных кораблей, корабль-охотник не имеет какого-либо вооружения. Основная его задача – поиск, отслеживание и преследование подлодок. В случае необходимости военных действий в дело вступают военные корабли и самолеты.

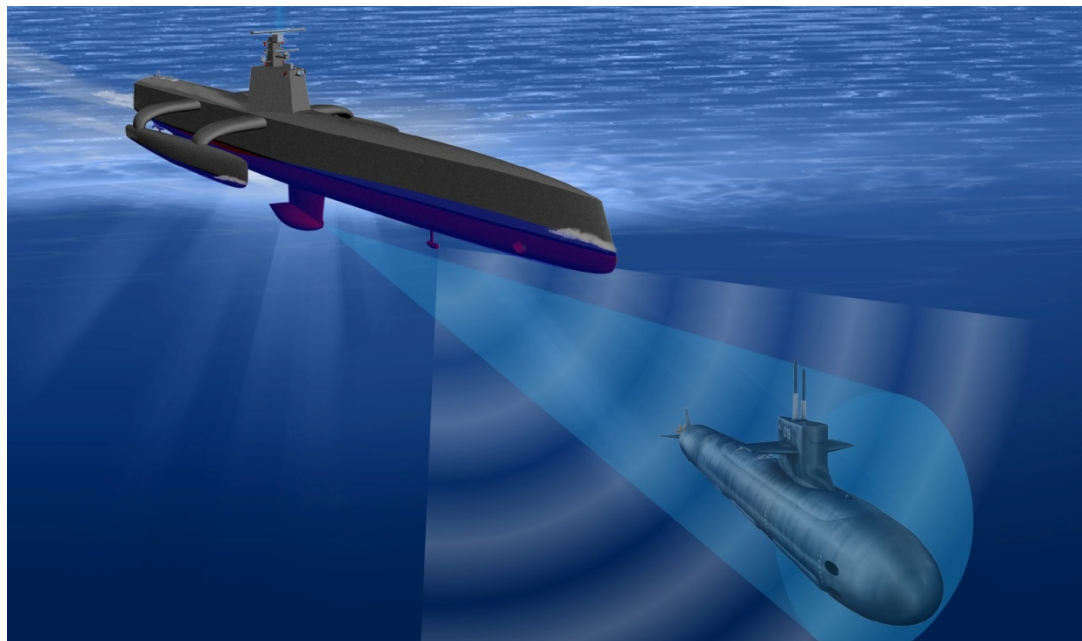


Рис. 2. «Морской охотник» сближается с подводной лодкой и передает данные о ее местоположении ближайшему военному кораблю

Навигация «Морского охотника» реализуется через системы бортовых датчиков и искусственного интеллекта. Среди этих датчиков радары дальнего и ближнего радиуса действия, электронно-оптические датчики, датчики-магнитометры, лазерный сканер LIDAR (Light Detection and Ranging) и другое оборудование.

Полученные данные будут обработаны системой на базе искусственного интеллекта (предполагается, что он сможет просчитать намерения корабля противника). На основании всех данных корабль построит изображение подводной лодки, определит ее модель и принадлежность к той или иной стране. Естественно, система искусственного интеллекта не будет столь совершенна, поэтому при необходимости «Морской охотник» может перейти под управление человека-оператора, который самостоятельно исправит возможные ошибки системы и направит корабль по верному пути поиска.

Первый образец «Морского охотника» прошел испытания в 2016 г. Аппарат построен по схеме «тримаран» с двумя вынесенными в стороны поплавокками. Такую схему конструкторы выбрали для обеспечения роботов большей остойчивости.

Основной задачей «Морского охотника» стало обнаружение и преследование тихих дизель-электрических подводных лодок, что позволило уменьшить возможность шпионажа. Кроме того, робота использовали для перевозки провизии и поиска морских мин.

Библиографический список

1. Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru> (дата обращения: 24.04.19).
2. Военно-технический сборник «Бастион». URL: <http://bastion-karpenko.ru> (дата обращения: 24.04.19).

УДК 51-74

Н. В. Ланда, Д. А. Бойко

студенты кафедры высшей математики и механики

О. Е. Дик

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ИЗОБРАЖЕНИЯМИ

Вейвлет-преобразование – это преобразование, похожее на преобразование Фурье, но с совершенно иной оценочной функцией. Основное различие заключается в следующем: преобразование Фурье раскладывает сигнал на составляющие в виде синусов и косинусов, т. е. функций, локализованных в фурье-пространстве; вейвлет-преобразование, напротив, использует функции, локализованные как в реальном, так и в фурье-пространстве. В общем виде вейвлет-преобразование может быть выражено следующим уравнением:

$$F(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \Psi_{(a,b)}^*(x) dx,$$

где * – символ комплексной сопряженности и функция Ψ – некоторая функция. Функция может быть выбрана произвольным образом, но она должна удовлетворять определенным правилам.

Применение вейвлетов широко распространено в работе с изображениями:

- сглаживание изображений;
- выделение определенных деталей изображений;
- увеличение или уменьшение изображений;
- повышение качества изображений;
- сжатие изображений.

Поскольку тема эта обширна и многогранна, рассмотрим последний пункт и разберемся, как вейвлет-преобразование помогает сжимать изображения.

Изображение, говоря простым языком, представляет собой таблицу, в ячейках которой хранятся цвета каждого пикселя. В случае черно-белого изображения в ячейки помещают значения яркости из диапазона от 0 до 255. Тогда каждое значение будет занимать ровно 1 байт. Даже небольшие изображения требуют много памяти для хранения, поэтому их стремятся закодировать таким образом, чтобы памяти для хранения требовалось меньше.

Существует большое количество алгоритмов сжатия данных. В настоящее время степень сжатия данных вплотную подошла к теоретическому пределу. Однако, говоря об изображениях, этот теоретический предел не так уж и велик. Это связано с тем, что в них значения яркости редко бывают одинаковыми даже у соседних пикселей. Всегда есть мельчайшие колебания, которые неуловимы человеческим глазом, но которые алгоритм сжатия пытается учитывать.

Лучше всего сжимаются длинные последовательности нулей. Так, например, вместо того чтобы записывать в память 50 нулей, можно записать просто число 50. Однако если в нашей последовательности в середине вдруг окажется единица, то одним числом 50 ограничиться не удастся. К счастью, кодировать абсолютно все не приходится, ведь когда мы смотрим на изображение, нам важны не мельчайшие колебания яркости, а общий рисунок. Следовательно, при кодировании можно подкорректировать его так, чтобы изображение хорошо кодировалось, при этом степень сжатия сразу вырастет.

Итак, перед нами стоит задача преобразовать изображение для того, чтобы оно хорошо сжималось алгоритмами. У фотографий, к примеру, есть одно свойство – яркость соседних пикселей обычно отличается на небольшую величину. Тут мы и подбираемся к вейвлет-преобразованию. Рассмотрим следующую фотографию (рис. 1).

Значения фрагмента первой строки следующие: 154, 155, 156, 157, 157, 157, 158, 156. Чтобы получить нули или хотя бы что-то близкое к ним, можно закодировать отдельно первое число, а потом рассматривать лишь отличия каждого числа от предыдущего. Получаем: 154, 1, 1, 1, 0, 0, 1, -2. Такой метод в самом деле используется и называется дельта-кодированием. Но у него есть серьез-

ный недостаток – нельзя взять кусочек последовательности и узнать, какие именно яркости в нем закодированы без декодирования всех значений перед этим кусочком.

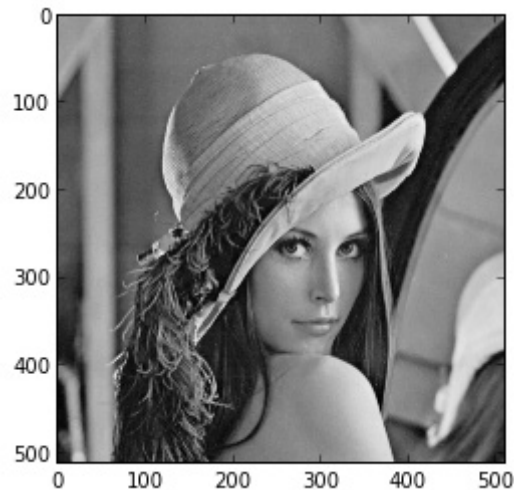


Рис. 1. Рассматриваемое изображение

Попробуем поступить иначе: улучшить имеющуюся последовательность и лишь потом попытаемся получить из нее то, что нам прежде всего необходима. Для этого разобьем все числа на пары и найдем полусуммы и полуразности значений в каждой из них:

1. (154, 155), (156, 157), (157, 157), (158, 156);
2. (154.5, 0.5), (156.5, 0.5), (157, 0.0), (157, -1.0).

Почему полусуммы и полуразности? Полусумма – это среднее значение яркости пары пикселей, а полуразность несет в себе информацию об отличиях между значениями в паре. Очевидно, зная полусумму a и полуразность d , можно найти и сами значения:

1. первое значение в паре = $a - d$;
2. второе значение в паре = $a + d$.

Это преобразование было предложено в 1909 г. Альфредом Хааром и носит его имя.

Полученные числа можно перегруппировать, разделив полусуммы и полуразности: 154.5, 156.5, 157, 157; 0.5, 0.5, 0.0, -1.0. Числа во второй половине нашей последовательности, как правило, будут невелики. Как мы уже говорили раньше, в реальных изображениях соседние пиксели редко значительно отличаются друг от друга. Если значение одного велико, то и другого велико. Это значит, что соседние пиксели коррелированы. В самом деле, рассмотрим первые 2000 пар соседних пикселей и каждую пару представим на графике точкой (рис. 2).

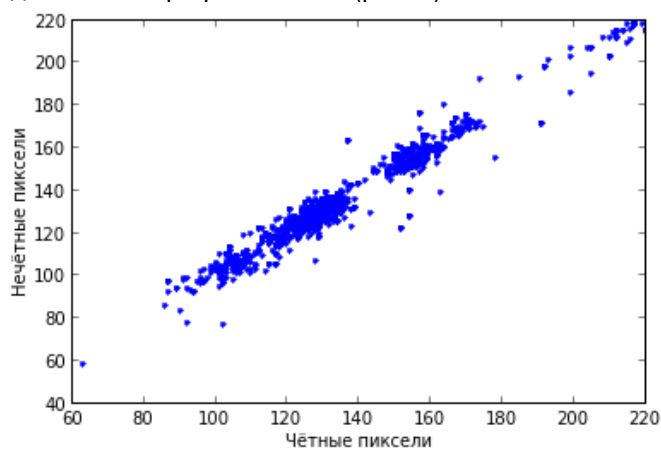


Рис. 2. Первые 2000 пар соседних пикселей

Все точки выстраиваются вдоль одной прямой линии. И так практически во всех реальных изображениях. Верхний левый и нижний правый углы изображения практически всегда пусты. А теперь рассмотрим график, точками в котором будут полусуммы и полуразности (рис. 3).

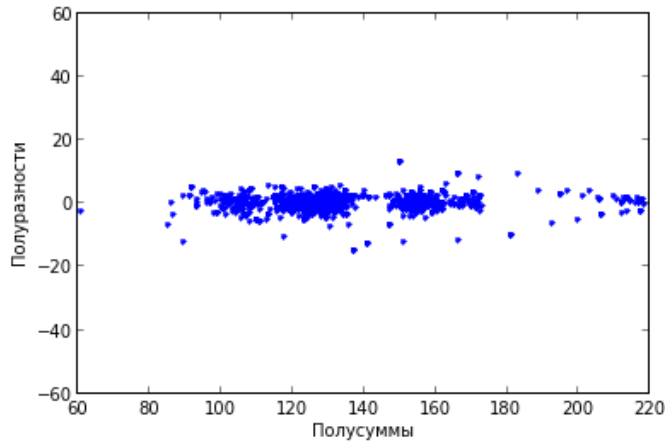


Рис. 3. График полусумм и полуразностей

Видно, что полуразности находятся в гораздо более узком диапазоне значений. А это значит, что на них можно потратить меньше одного байта. Какое-никакое, а сжатие. Попробуем записать математические выражения, описывающие преобразование Хаара.

Итак, у нас была пара пикселей (вектор) $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$, а мы хотим получить пару $\begin{pmatrix} \frac{y+x}{2} \\ \frac{y-x}{2} \end{pmatrix}$. Такое преобразование описывается матрицей

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}.$$

В самом деле

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{y+x}{2} \\ \frac{y-x}{2} \end{pmatrix},$$

что нам и требовалось. Заметим, что рисунки из точек на двух последних графиках одинаковы. Разница лишь в повороте на угол в 45° . В математике повороты и растяжения называются аффинными преобразованиями и описываются как раз при помощи умножения матрицы на вектор, что мы и получили.

Как видно, преобразование Хаара – это просто поворот точек таким образом, чтобы их можно было удобно и компактно закодировать. Однако при аффинных преобразованиях может меняться площадь фигуры. Как известно, коэффициент изменения площади равен определителю матрицы. Для преобразования Хаара он получается следующим:

$$\Delta \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} = \frac{1}{2} * \frac{1}{2} - \left(-\frac{1}{2}\right) * \frac{1}{2} = \frac{1}{2}.$$

Для того чтобы определитель стал равен единице, достаточно умножить каждый элемент матрицы на $\sqrt{2}$. На угол поворота (а значит, и на сжимающую способность преобразования) это не повлияет. Получаем в итоге матрицу

$$H = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}.$$

Теперь разберемся с декодированием. Как известно, если у матрицы определитель не равен нулю, то для нее существует обратная матрица. Если мы найдем обратную матрицу для H, то декодирование будет заключаться в умножении векторов с полусуммами и полуразностями на нее:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = H^{-1} * \begin{pmatrix} a \\ d \end{pmatrix}.$$

Наша матрица состоит из двух вектор-строк:

$$\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \text{ и } \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{2}}\right).$$

Назовем их v_1 и v_2 . Они обладают следующими свойствами:

- 1) во-первых, их длины равны 1, то есть $v_1 \cdot v_1^T = v_2 \cdot v_2^T = 1$. Здесь Т означает транспонирование. Умножение вектор-строки на транспонированный вектор-столбец называется скалярным произведением;
- 2) во-вторых, они ортогональны, то есть $v_1 \cdot v_2^T = v_2 \cdot v_1^T = 0$.

Матрица, строки которой обладают указанными свойствами, называется ортогональной. Чрезвычайно важным свойством таких матриц является то, что обратную матрицу для них можно получить простым транспонированием:

$$H^{-1} = H^T = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}.$$

В справедливости этого выражения можно убедиться, умножив H на обратную матрицу. Все сказанное хорошо работает для двух точек. В случае если точек больше, можно описать преобразование матрицей, но большей по размеру. Диагональ этой матрицы будет состоять из матриц H , таким образом в векторе исходных значений будут выбираться пары, к которым независимо будет применяться преобразование Хаара:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & & & & \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & & & & \\ & & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & & \\ & & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & & \\ & & & & \ddots & \end{pmatrix}.$$

То есть исходный вектор просто обрабатывается независимо по парам.

Итак, поняв, как выполнять преобразование Хаара, рассмотрим, что же оно дает. Полученные полусуммы – это средние значения в парах пикселей, т.е. фактически значения полусумм – это уменьшенная копия исходного изображения (уменьшенная потому, что полусумм в два раза меньше, чем исходных пикселей). Полусуммы усредняют значения яркостей, то есть отфильтровывают случайные всплески значений. Аналогично разности выделяют среди значений межпиксельные «всплески» и устраняют константную составляющую, т.е. отфильтровывают низкие частоты. Таким образом, преобразование Хаара – это пара фильтров, разделяющих сигнал на низкочастотную и высокочастотную составляющие. Чтобы получить исходный сигнал, нужно просто снова объединить эти составляющие.

Что нам это дает? Низкочастотная составляющая несет в себе информацию об общих деталях, о плавных перепадах яркости. Высокочастотная – это шум и мелкие детали. Обычно, когда мы смотрим на изображение, нас больше интересует низкочастотная составляющая, а значит, при сжатии часть высокочастотных данных можно отбросить. Тем более что, как мы выяснили, она обычно имеет меньшие значения, а значит, более компактно кодируется.

К слову, степень сжатия можно увеличить, применяя преобразование Хаара многократно. В самом деле, высокочастотная составляющая – это всего лишь половина от всего набора чисел. После повторного применения высокочастотная информация будет занимать уже 75%. Хотя мы пока и говорили об одномерных цепочках чисел, этот подход хорошо применим и для двумерных данных. Чтобы выполнить двумерное преобразование Хаара (или аналогичное ему), нужно лишь выполнить его для каждой строки и для каждого столбца. Применим преобразование Хаара к фотографии замка Лихтенштейна (рис. 4).

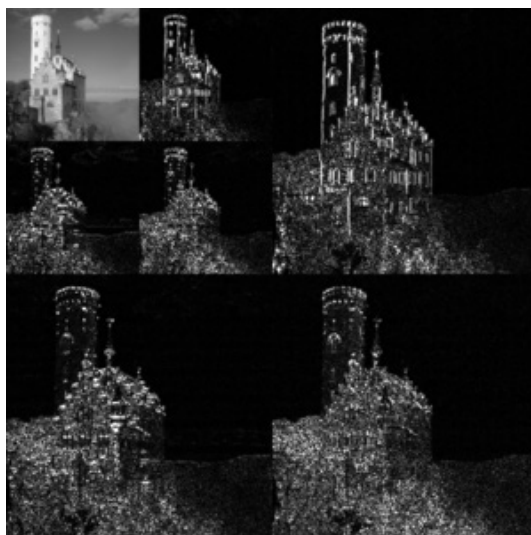


Рис. 4. Трехкратное сжатие фотографии замка Лихтенштейна

Черные области соответствуют низкой яркости, то есть значениям, близким к нулю. Если значение достаточно мало, то его можно округлить или вообще обнулить без особого ущерба для декодированного рисунка. Этот процесс называется квантованием. И именно на этом этапе происходит потеря части информации. Меняя число обнуляемых коэффициентов, можно регулировать степень сжатия, разумеется, в разумных пределах.

В настоящей статье было показано применение вейвлет-преобразования в обработке изображений. На примере простейшего из преобразований, преобразования Хаара, был продемонстрирован математический аппарат для работы с изображениями.

Библиографический список

1. Fisher, Y. Fractal Image Compression: Theory and Application. Springer Verlag / Y. Fisher. N. Y., 1995. 117 p.
2. Wavelet Analysis and Signal Processing / R. Coifman [et al.] // Wavelets and Their Applications, J. Byrnes ed., Boston: Kluwer Academic, 1994. P. 363–380.
3. Юдин, М. Введение в вейвлет-анализ / М. Юдин, Ю. Фарков, Д. Филатов. М.: Моск. геологоразв. акад., 2001. 72 с.

УДК 614.888

Е. Ю. Левчук

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

А. В. Чабаненко

старший преподаватель – научный руководитель

БИОПРИНТИНГ АУТОЛОГИЧНЫХ КЛЕТОК, КОЖНЫЙ 3D-БИОПРИНТЕР

При серьезном повреждении кожи (ожоги высокой степени, глубокие порезы, рваные раны), требуется время для того, чтобы произошла полная регенерация кожи, а порой необходима пересадка разных слоев дермы. Кроме того, нужно постоянно обрабатывать поврежденное место.

Пациенты, получившие позднее или недостаточно эффективное лечение при сильных ожогах, подвержены появлению рубцов, которые могут привести к физиологическим дефектам. Ауто трансплантаты считаются золотым стандартом техники лечения тяжелых ран. Однако пересадка кожи на раны часто является проблемой, особенно в условиях ограниченной доступности здоровой донорской кожи. Более того, данный способ не гарантирует того, что новая кожа не будет отвергнута организмом пациента.

Неидеальность этого способа привела к созданию кожных заменителей, которые чаще всего состоят из синтетической или биологической основы. Такие материалы ускоряют заживление ран, но они очень дорогостоящие. К сожалению, также возникают трудности с созданием заменителей кожи подходящих размеров, поэтому нет возможности покрыть раны различной глубины или топографии.

Данным вопросом занялись ученые WFIRM (Института регенеративной медицины Уэйк-Форест) и разработали мобильное устройство для биопечати кожи.

Плюсы данного устройства:

- наносит слои кожи непосредственно на рану, поставляя дермальные фибробласты и эпидермические кератиноциты к ране, воспроизводя наложенную структуру кожи и ускоряя ход образования нормальной структуры и функций кожи;
- используются непосредственно клетки кожи пациента;
- применяется процесс сканирования раны для равномерного нанесения новой кожи;
- увеличивается скорость заживления ран;
- отсутствуют следы после операции.

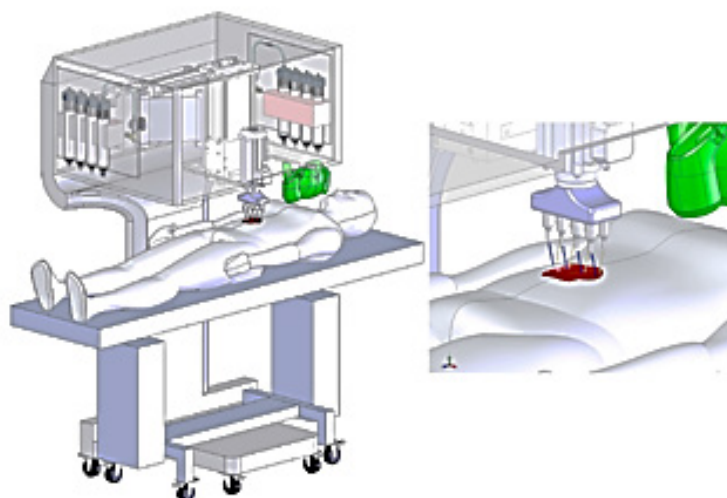


Рис. 1. Схематическое изображение масштаба, конструкции и компонентов кожного биопринтера

Процесс начинается с биопсии, чтобы получить образцы кожи пациента, которые не будут отвергнуты его организмом после пересадки. Используются фибробласты – основные клетки соединительных тканей, способствующие заживлению ран, и кератиноциты – основные клетки эпидермиса кожи человека. Данные образцы помещают в питательную среду, выращивают определенное количество клеток, а затем смешивают их с гидрогелем. Впоследствии именно эту смесь используют для пересадки.

Для изучения типологии раны перед процедурой необходимо провести трехмерное сканирование поврежденного места лазером. Данная информация позволит 3D-принтеру расположить свои фибробласты и кератиноциты в правильном порядке и использовать ровно столько материала, сколько требуется для закрытия раны.

В результате этого после заживления на месте повреждения не останется следов операции.

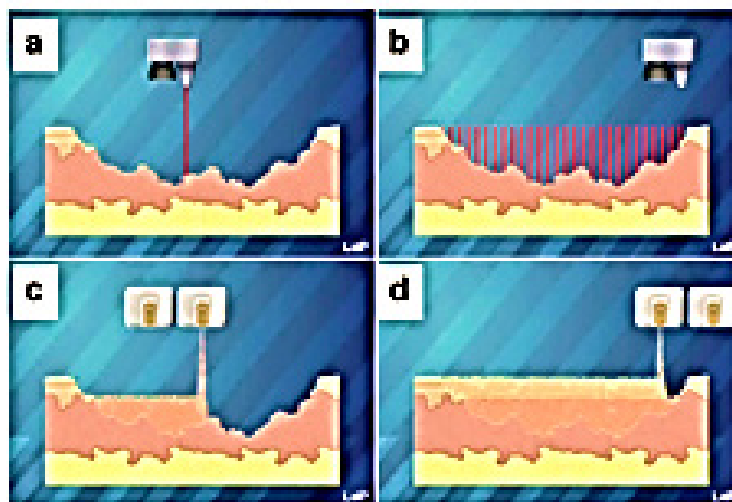


Рис. 2. Концепция биопринтинга кожи:

*(a, b) – сканирование раны для получения точной информации о топографии раны;
(c, d) – процесс пересадки кожи на место повреждения*

Технология имеет потенциал, поскольку позволяет устранить необходимость в болезненных кожных трансплантатах, которые вызывают дальнейшее обезображивание пациентов, страдающих от больших ран или ожогов. Мобильный биопринтер, способный обеспечить лечение обширных ран на месте, может помочь ускорить оказание помощи пациентам.

Другие типы ранозаживляющих продуктов, доступных для лечения ран, не способствуют непосредственному созданию кожи.

Данная методика в разы увеличивает скорость затягивания ран, форсирует формирование кожных покровов за счет добавления «родных» клеток пациента, а не использования донорских трансплантатов.

В России биопринтер для печати кожи и вопрос биопечати также пользуются популярностью. Внедрение данного устройства в нашей стране приведет к устранению проблем, возникающих при серьезных повреждениях кожи человека. В настоящий момент ученые изучают эту концепцию и конструируют на ее основе устройства для решения проблем в сфере медицины и здоровья.

Библиографический список

1. Scientificreports. URL: <https://www.nature.com> (дата обращения: 15.04.2019).
2. Мерфи, С. В. 3D-биопринтинг тканей и органов / С. В. Мерфи, А. Атала // Nat Biotechnol 32. 2014. P. 773–785.
3. Ли, В. Проектирование и изготовление кожи человека методом трехмерной биопечати. Тканевая инженерия. Ч. С: Методы 20. 2013. С. 473–484.

УДК 658.822

Е. Ю. Левчук

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества.

А. В. Чабаненко

старший преподаватель – научный руководитель

ТЕЛЕЖКИ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ CARER

Уже несколько лет проблема нерационального питания остается актуальной и является причиной заболевания людей, проживающих в развитых и развивающихся странах. Высокий темп жизни заставляет их потреблять большое количество рафинированных продуктов и полуфабрикатов, что сказывается на состоянии их здоровья. Огромное количество людей не задумывается о качестве потребляемой пищи, предпочитая здоровым продуктам те, которые находятся в шаговой доступности и не отличаются высоким содержанием необходимых макро- и микроэлементов.

Пища в супермаркетах содержит много консервантов, красителей, усилителей вкуса и стабилизаторов, которые негативно влияют не только на органы пищеварения, но и на весь организм в целом.

Производитель всегда указывает состав своего товара, но немногие изучают информацию о продуктах, которые они кладут в свою корзину. Обычно люди ходят за покупками вечером, после тяжелого рабочего дня, и выбирают себе «что-нибудь на ужин», практически не всматриваясь в состав товара, отталкиваясь только от вкусовых качеств и времени приготовления блюда. Более того, человек не всегда может оценить количество находящихся в том или ином продукте питательных веществ, а также расшифровать названия вредных добавок.

Заинтересовавшись данным вопросом, американская компания Carer.ai взялась решить данную проблему, разработав умную тележку Carer со встроенным искусственным интеллектом.

С помощью считывающего устройства и жидкокристаллического дисплея, встроенных в ручку, тележки помогут покупателям оценить характеристики выбранных ими продуктов.



Рис. 1. Внешний вид Carer

Carer выглядит как традиционная тележка, которую используют в разных торговых точках, но отличается своей технологической оснащённостью:

- гаджет может автоматически идентифицировать каждый товар, благодаря встроенным в его устройство датчикам и камерам, сканирующим и распознающим товары, которые покупатель кладет в корзину;
- сенсоры помогут фиксировать попадание продукта в корзину Carer;
- весы определяют вес пищи, продающейся на развес;
- калькулятор, после того как продукты будут помещены в корзину, автоматически посчитает итоговую стоимость покупки;

- на встроенном сенсорном экране можно будет увидеть список находящихся в тележке продуктов с изображением товара, его названием, ценой с учетом всех скидок;
- воспользовавшись встроенным в Carer терминалом, покупатель может оплатить покупки, не отходя от тележки.



Рис. 2. Процесс сканирования продуктов с помощью считывающего устройства

После того как посетитель супермаркета поднесет товар к считывающему устройству тележки, на экране отразится оценка потребительских свойств товара. Графически это будет отображено с помощью смайлика или светофора. Например, на дисплее-светофоре будет гореть красный сигнал, если покупатель выбрал продукты, содержащие большое количество красителей и консервантов и зеленый, если продукты полезные и натуральные. Желтый сигнал свидетельствует об одинаковом содержании здоровых и нездоровых продуктов. Кроме того, дисплей может иметь одновременно несколько светофоров, оценивая различные критерии товара.

Ожидаемый результат внедрения тележек Carer: людям не придется тратить больше времени на покупки, а выбор будет падать исключительно на полезные продукты. Супермаркеты, в которых будет размещено данное устройство, будут пользоваться большой популярностью среди людей, которые заботятся о состоянии своего здоровья и качестве продуктов, которые они потребляют. Стремление людей приобретать качественные и натуральные продукты постепенно увеличит средний чек на одного покупателя (на 18% больше, чем обычно).

На данный момент умные тележки эксплуатируют в двух нью-йоркских магазинах, в скором времени Carer появятся еще в 150 торговых точках.

В продуктовых магазинах России также начинают использоваться умные тележки. Некоторые розничные сети активно практикуют данную методику: О'КЕЙ внедрил в свои сети терминалы самостоятельных покупок «О'КЕЙ скан», которые пользуются большой популярностью среди покупателей; Компания «Лента» также внедрила в свою сеть систему самообслуживания – ручные сканеры для совершения покупок. Планируется дальнейшее внедрение данных технологий, а также прогнозируется рост среднего чека покупателей, пользующихся терминалами самостоятельных покупок, на 10–15%.

Библиографический список

1. Carer. URL: <https://www.carer.ai> (дата обращения: 13.04.2019).
2. TechCrunch. URL: <https://techcrunch.com> (дата обращения: 13.04.2019).

УДК 616.9

П. В. Новикова

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

В. О. Смирнова

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПРОБЛЕМА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ПРИОНОВ

В современном мире очистка воды является одной из самых глобальных проблем общества. Питьевой воды становится все меньше. Каждый шестой человек испытывает нехватку питьевой воды. Этот факт связан с деятельностью человека, которая влечет за собой ряд проблем, включая изменение климата и пагубное влияние на экосистемы. Помимо этого, землепользование оказывает достаточное воздействие на качество воды. Можно сказать, что качество воды зависит от самого человека.

Чтобы качество воды удовлетворяло определенным стандартам и нормам, очистка воды должна происходить в соответствии со стандартами или же должны учитываться все факторы природы, такие как гидросфера, атмосфера, литосфера и биосфера, которые связаны между собой и влияют на качество воды.

Почему важно учитывать не только саму очистку воды, но и факторы, влияющие на качество воды? В ходе круговорота воды в природе загрязняющие вещества способны попадать в воду из атмосферы, литосферы и биосферы. Один из видов такого загрязнения воды – бактериальное, при котором в воде появляются патогенные бактерии, простейшие, вирусы, грибы и другие инфекционные загрязнители.

Так, одним из инфекционных загрязнителей воды являются прионы. Прионы представляют собой совершенно новый класс инфекционных агентов, они принципиально отличаются от простейших, бактерий, грибов и вирусов [1]. Произвести тщательную очистку воды от прионов достаточно сложно, ведь они устойчивы к нагреванию, ионизирующей радиации, ультрафиолету. Помимо этого, прионы активны после обработки мочевиной, агентами и SDS, повреждающими ДНК, что доказывает возможность закрепления прионов в окружающей среде.

Сохраняясь в гидросфере, литосфере и атмосфере, прион находит способы воздействия на человека, после чего человек становится жертвой этих агентов, что ведет к печальным последствиям, если не предпринимать мер по уничтожению, обезвреживанию среды от этих инфекционных загрязнителей.

Прионы (от англ. Proteinaceous Infectious Particles – белковая инфекционная частица) – молекулы белка PrP, свернутые особым, «неправильным» образом [2]. В буквальном значении прионом называется белковая инфекционная частица очень маленького размера (молекула), устойчивая к инаktivации факторами, влияющими на нуклеиновые кислоты [3]. Этот агент представляет собой белок, названный PrP (Prion Protein) – общее название прионного белка.

На основании определения первичной структуры белка PrP был идентифицирован кодирующий его ген, названный Prnp. Кодирующий PrP ген содержится в двадцатой хромосоме человека, значит, он имеется в ДНК любого человека. Ген Prnp присутствует в геноме всех млекопитающих, а также птиц и рыб. PrP является мембранным белком, который в основном экспрессируется в клетках центральной нервной системы и лимфоретикулярной ткани. Нормальная форма белка PrP обозначается PrP^C. Патологическая форма этого белка, обуславливающая инфекционность, была названа PrP^{Sc} (форма PrP, связанная со Scrapie). PrP^{Sc} неотличим от PrP^C по аминокислотной последовательности, но имеет другую конформацию [4]. Отличительные особенности каждой формы прионов приведены в таблице.

Функция PrP^C в норме предположительно заключается в регуляции суточных циклов (динамики) многих гормонов и циркадных ритмов в целом. PrP^{Sc} – патологическая, аномальная изоформа прионного белка, возбудитель скрепи, PrP^{CWD} – возбудитель хронического истощения оленей (CWD – Chronic Wasting Disease) [3].

Сравнительная характеристика нормальной и патогенной формы белка PrP

PrP ^C	PrP ^{Sc}
Выполняет ряд важных функций	Функционально неактивен
Неинфекционен	Инфекционен
Чувствителен к нагреванию, УФО, ионизирующему излучению, переваривающему действию протеаз	Высоко устойчив к нагреванию, УФО, ионизирующему излучению, переваривающему действию протеаз

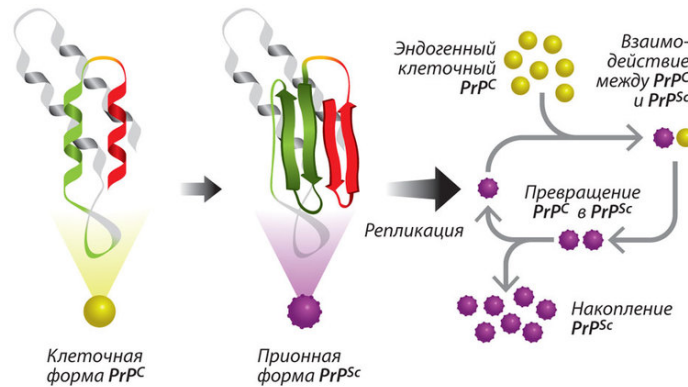


Рис. 1. Превращение нормальной формы белка PrP^C в патологическую форму PrP^{Sc}

Существует несколько путей передачи инфекции: аэрогенный, алиментарный, контактный. Аэрогенный механизм реализуется за счет переноса прионного агента на пылевых и аэрозольных частицах. В последующем прионный агент оседает на слизистых оболочках дыхательного тракта, контаминирует обонятельные нервы и с помощью дрейфа в плоскости мембраны нейритов распространяется по нервным путям и там же реплицируется. Отмечается способность оседать на роговице и реплицироваться. Алиментарный механизм передачи основывается на контакте инфекционного агента со слизистыми оболочками желудочно-кишечного тракта.

PrP^{Sc} попадает в организм посредством пищи, воды, контакта слизистой оболочки полости рта с объектами окружающей среды. При контактном механизме передачи прион способен попадать в организм через микротрещины на поверхности слизистых оболочек и поверхности кожи. Дальнейшее распространение на центральную нервную систему, как предполагается, происходит через периферические нервы.

В организме прионный агент оседает и реплицируется и в половых органах, поэтому не стоит исключать из возможных путей передачи половой, как вариант контактного механизма. Доказан гемоконтактный механизм, в частности трансплацентарный путь передачи прионной инфекции [5]. Инфекционные прионы обнаружены в молоке скрепи-инфицированных, но внешне здоровых овец; могут содержаться в слюне и крови оленей, что приводит к заражению естественной среды [1].

Исследования, проведенные с растениями (пшеницей), показали возможность адсорбции PrP^{Sc}-агента на поверхностях растения, в особенности на листьях, и сохранение его в течение 49 дней. Помимо этого, в ходе исследования была определена способность растения поглощать PrP^{Sc}-агент из почвы и перемещать его в свои наземные части в инфекционно эффективных количествах. После поедания травоядными организмами таких растений последние заражались прионной инфекцией.

Прионы могут перемещаться и с помощью круговорота воды в природе, проходя всю цепочку этого процесса: от испарения, конденсации, выпадения осадков до сточных вод. Схема круговорота воды приведена на рис. 2. Прионный агент эффективно сохраняется в водных средах. Устойчивость в водных средах зависит от структуры прионного агента – от штамма. В водных сре-

дах действуют факторы, способствующие прионной деградации: физические влияния и химические вещества, микробные сообщества. Становится актуальным вопрос об эффективности водных очистительных сооружений в отношении прионных агентов [5].

Благодаря круговороту воды в природе происходит взаимосвязь гидросферы, атмосферы литосферы и биосферы. Соответственно, прионы также могут из одной оболочки Земли переходить в другую и потому представляют опасность для всех организмов.



Рис. 2. Схема круговорота воды

При процессе конденсации воздух смешивается с холодными потоками, пар превращается в жидкость, при этом прионы, которые были в воздухе, попадают в дальнейшем в воду. Таким образом, воздух является фактором передачи прионного агента. Ранее были проведены исследования, анализирующие распространенность PrP^{Sc}-агента в пыли фермы, где 12 месяцев не содержались животные. В результате было установлено, что прионный агент способен распространяться в составе пылевых частиц на достаточно большие расстояния (30 м) [5].

Еще одним фактором передачи прионной инфекции является почва. Прионы, содержащиеся в почве, могут без труда переходить в воду. Прионы в связке с минералами приумножают свою активность. Прионный агент вызывают разрушение головного мозга (заболевание скрепи у овец, бешенство у коров). Эта частица – не микроорганизм, но проявляет инфекционные свойства. Прионы сохраняют свою токсичность в почвах, где выпасались больные скрепи овцы. В почве они могут связываться с минералами. Было показано, что в связке с монтмориллонитом, кварцем и каолином токсичность прионов, вопреки ожиданиям, не уменьшалась, а увеличивалась в десятки раз. Механизм такого явления неясен: или минерал предохраняет испорченный белок от действия ферментов, или прионы на его поверхности собираются в группы, активность которых выше, или др. [6].

Самое страшное для человека свойство прионного агента – его устойчивость, благодаря которой прионы с легкостью могут сохраняться в окружающей среде и долгое время находиться в ней, участвовать в природных циклах, круговороте воды в природе, размножаться благодаря инфицированию восприимчивых особей. Все эти факторы затрудняют ликвидацию прионов в биогеоценозах. В связи с этим чрезвычайно актуальна проблема профилактики прионной инфекции, включающая предотвращение попадания прионного агента в пищевую цепь человека и снижение контаминации окружающей среды прионным агентом. Приобретает значение комплексный подход к воздействию на все этапы циркуляции прионного агента в окружающей среде для обеспечения деконтаминации последней [5].

Профилактика прионных заболеваний:

- использование генно-инженерных гормональных препаратов;
- ограничение трансплантации тканей;

- соблюдение при работе с биологическими жидкостями и тканями правил, предусмотренных для работы с больными СПИДом;
- уничтожение хирургических инструментов, используемых у больных БКЯ либо обработка их гипохлоритом с последующей очисткой и автоклавированием при температуре 134 °С в течение 1 ч.;
- запрет на использование пищи, подозрительной на содержание инфекционного прионного белка;
- разведение пород домашних животных, резистентных к прионам;
- выявление носителей патогенных мутаций [7];
- разработка системы профилактических мероприятий;
- разработка новых способов деконтаминации;
- образовательная и просветительская деятельность.

Если говорить конкретно об эффективности очистки сточных вод от прионов, то важно разработать системы деконтаминации на фермах. Чтобы предотвратить огромный выброс прионов в окружающую среду, следует обратить внимание на организмы, эндемичные к данной инфекции, ведь они являются главной опасностью для размножения прионного агента. Одним из оптимальных путей решения проблемы является применение озонирования при очистке сточных вод, так как возможно обеззараживание воды от прионов только с помощью озона. Помимо веществ, обладающих в отношении прионного агента деградационным эффектом, предположительно использование компонентов почвы, обладающих высокой адсорбционной способностью в отношении прионных агентов, в частности PrP^{Sc} (например, монтмориллонитовые глины) [5].

Значительно снизить вероятность заражения и последующего распространения прионного агента в среде позволит детекция прионного агента в биоматериале и его последующая дегградация. Проблема обнаружения биоматериала, обсемененного прионным агентом, и последующая дегградация последнего для предупреждения контаминации среды встает на первый план при обнаружении животных (в основном сельскохозяйственных), потенциально зараженных прионным агентом и выделяющих последний во внешнюю среду.

Два новаторских метода, позволяющих реплицировать PrP^{Sc} *in vitro*: PMCA и RT-QuIC – основаны на чередовании циклов трансформации исходным прионным агентом (в предполагаемом биологическом субстрате) рекомбинантного прионного белка rPrP и обработки ультразвуком (дробление амилоидных фибрилл и увеличение центров полимеризации) с дальнейшим добавлением тиофлавина-Т, связывающегося с амилоидными структурами и позволяющего обнаружить последние благодаря эффекту флюоресценции. Кроме непосредственного обнаружения состоявшейся реакции трансформации возможна оценка количества прионного агента в биологическом субстрате по нарастанию флюоресцирующей способности. Методы позволяют обнаружить следовые концентрации прионного агента в биологическом материале.

Однако помимо обнаружения прионного агента встает проблема его дегградации для предотвращения контаминации среды. Устойчивость PrP^{Sc} к агрессивным внешним воздействиям усложняет задачу. Предлагается использование таких методов дегградации PrP^{Sc} в биоматериале, как сжигание и компостирование. Однако если в отношении сельскохозяйственных угодий и промышленных предприятий, потенциально контактирующих в силу своей специализации с прионным агентом, возможно применение вышеперечисленных методов профилактики, то в отношении природной среды, распространенность прионного агента в которой может возрасти и возрастает, применение таких методов деконтаминации затруднительно [5].

Таким образом, прионные инфекции являются опасностью для человека. Устойчивость прионов к различным воздействиям сохраняется на протяжении времени, что является отрицательным фактором при обезвреживании воды от данного рода инфекции. Необходимы способы обеззараживания окружающей среды от прионов. Недостаточная исследованность всех аспектов данной проблемы замедляет попытки разработать новые пути решения этой проблемы. Для решения этой задачи следует проводить исследования в области эпидемиологии, экологии и молекулярной биологии.

Библиографический список

1. *Леонова, З. А.* Прионы и прионовые заболевания / З. А. Леонова // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. 2010. № 6(76). Ч. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/priony-i-prionovye-zabolevaniya> (дата обращения: 09.04.2019).
2. Жизнь неправильной молекулы // Популярная механика. 2011. № 8(106). URL: <https://www.popmech.ru/science/11809-zhizn-nepravilnoy-molekuly-belki/#part0> (дата обращения: 09.04.2019).
3. *Макаров, В. В.* Прионы и прионные болезни / В. В. Макаров // Российский ветеринарный журнал. 2018. № 1. С. 29–34.
4. *Шкундина, И. С.* Прионы / И. С. Шкундина, М. Д. Тер-Аванесян // Успехи биологической химии. 2006. Т. 46. С. 3–42. URL: <https://psychiatr.ru/download/1248?view=1&name=prions.pdf> (дата обращения: 09.04.2019).
5. *Шишкин, А. А.* Экология и эпидемиология прионной инфекции. Некоторые аспекты профилактики / А. А. Шишкин. URL: <https://www.eduherald.ru/pdf/2018/5/18946.pdf> (дата обращения: 09.04.2019).
6. *Зубкова, Т. А.* Почва как фактор здоровья человека / Т. А. Зубкова, Л. О. Карпачевский, Ю. Н. Ашинов // Пространство и время. 2013. № 2(12). С. 207–219.
7. *Сбойчаков, В. Б.* Микробиология, основы эпидемиологии и методы микробиологических исследований / В. Б. Сбойчаков. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: СпецЛит, 2017. 712 с.

УДК 632.15

Ю. Д. Сарбаева

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

В. О. Смирнова

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

Особую опасность в настоящее время представляют выбросы в атмосферу загрязняющих веществ [1]. Качество атмосферного воздуха определяется концентрацией содержащихся в нем загрязняющих веществ, которая не должна превышать санитарно-гигиенический норматив – предельно допустимую концентрацию (ПДК) для каждого загрязняющего вещества [2].

Причины загрязнения атмосферного воздуха промышленными предприятиями [3]:

- неполный выход продукта либо особенности протекания реакций, исключающих возможность 100%-ного использования исходных продуктов, а также потери конечного продукта (например, производство серной кислоты контактным способом);
- выброс в атмосферу примесей и загрязнений, содержащихся в сырье (HF, SiF₄ из природных фосфатов);
- потери ряда веществ, используемых в производственных процессах (летучих растворителей);
- попадание различных веществ в атмосферу в результате процессов окисления, нагревания и сушки.

Чем больше величина выброса в единицу времени, тем больше при прочих равных условиях загрязняющих веществ поступает в воздушный поток и, следовательно, создается в нем более высокая концентрация загрязнений. Выражается выброс в единицах на единицу времени (мг/м³, кг/сут, т/год) [3].

Промышленные выбросы в атмосферный воздух подразделяют на первичные и вторичные [3]. Первичные – выбросы, непосредственно поступающие в воздушную среду от тех или иных источников, а вторичные, будучи продуктами образования первичных, могут быть более токсичными и опасными, чем первые.

Классификация газовых выбросов в окружающую среду [3]:

- по организации контроля и отвода: организованные и неорганизованные;
- по режиму отвода: непрерывные и периодические;
- по температуре: когда температура газового потока выше, ниже или равна температуре окружающей среды;
- по локализации: выбросы происходят в основном или вспомогательном производствах;
- по признакам очистки: чистые, нормативно очищенные, выбрасываемые без очистки (при этом под очисткой понимается отделение, улавливание и превращение в безвредное состояние загрязняющего вещества, поступающего от промышленного источника).

Концентрация примесей определяет физическое, химическое и другие виды воздействия веществ на человека и окружающую среду и служит основным параметром при нормировании содержания примесей в атмосфере. Соблюдение ПДК вредных веществ в газовых выбросах обеспечивается созданием процессов на основе малоотходной и безотходной технологий.

По качественному составу и вредности выбросов промышленные производства и технологическое оборудование разделяется на четыре группы [3]:

- 1) имеющие условно чистые выбросы газов и аспирационного воздуха в атмосферу (содержание вредных веществ в них не превышает санитарно-гигиенических норм);
- 2) имеющие неприятно пахнущие выбросы газов или аспирационного воздуха;

3) имеющие значительные выбросы газов или аспирационного воздуха, содержащие не-токсичные или инертные вещества;

4) имеющие выбросы газов или аспирационного воздуха, содержащие канцерогенные или ядовитые вещества.

Людям, живущим в крупных промышленных городах, приходится дышать воздухом, перенасыщенным вредными и ядовитыми веществами, которые выбрасывают в атмосферу промышленные предприятия. При этом масштабы загрязнения зависят от размеров предприятия, потребляемого сырья. Особенно сильно влияют на загрязнение воздуха предприятия черной и цветной металлургии, химии и нефтехимии, стройиндустрии, энергетики, топливной промышленности.

Существует несколько видов предотвращения влияния промышленных выбросов на атмосферный воздух, которые приведены в официальных документах.

Предприятия, выбрасывающие в окружающую среду вредные вещества, должны быть отделены от жилой застройки санитарно-защитными зонами (см. рисунок). Расстояние от предприятия до жилой застройки (размеры санитарно-защитной зоны) устанавливаются в зависимости от количества и вида выбрасываемых в окружающую среду загрязняющих веществ, мощности предприятия, особенностей технологического процесса.

С 1981 г. расчет санитарно-защитной зоны регламентируется государственным стандартом СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [4]. В зависимости от количества и степени вредности выбросов в атмосферу существуют следующие санитарно-защитные зоны: для I класса – 1000 м; для II класса – 500 м; для III класса – 300 м; для IV класса – 100 м; для V класса – 50 м. В зависимости от класса устанавливается нормативная величина санитарно-защитной зоны.

Одна из функций санитарно-защитной зоны – биологическая очистка атмосферного воздуха средствами озеленения. Древесно-кустарниковые насаждения газопоглотительного назначения (фитофилтры) способны поглощать газообразные загрязняющие вещества. Например, установлено, что луговая и древесная растительность может связывать 16–90% сернистого газа.

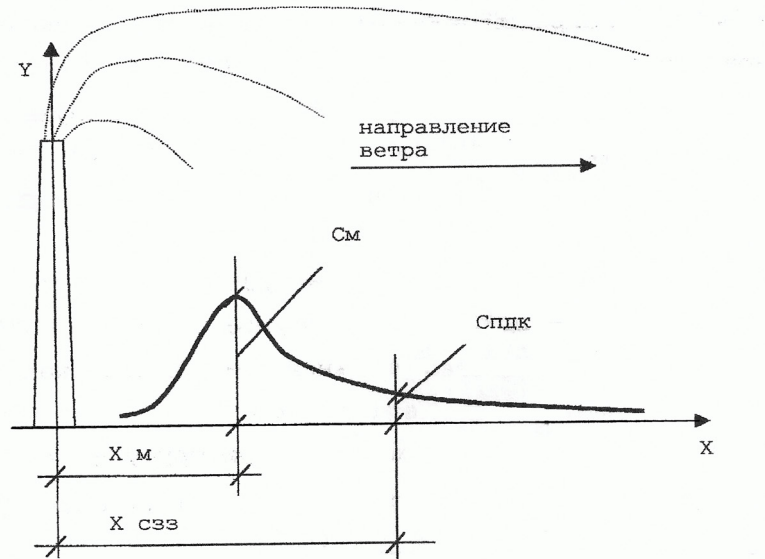


Схема рассеивания выбросов

Следующая методика заключается в расчете рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах, она основана на определении концентраций этих веществ ($мг/м^3$) в приземном слое воздуха. Степень опасности загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха выбросами вредных веществ определяется по наибольшему рассчитанному значению концентрации вредных веществ, которое может установиться на некотором расстоянии от источника выброса при наиболее неблагоприятных метеоусловиях (скорость ветра достигает опасного значения, наблюдается интенсивный турбулентный вертикальный обмен и др.).

В программе расчета рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе реализованы Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [5] и «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86)» [6].

Предприятие должно проводить анализ промышленных выбросов в воздух на границе санитарно-защитных зон и территории жилой застройки, а также в рабочих помещениях. Анализы проводятся на основании статей 22.2, 24.3, 35, 30.1 Федерального закона № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха», а также в соответствии с действующими аттестованными методиками и включают в себя [7]:

- отбор пробы аккредитованной лабораторией;
- проведение исследования (анализа);
- оформление протокола.

Проведение анализов необходимо любому индивидуальному предпринимателю или юридическому лицу, осуществляющему хозяйственную (или иную) деятельность и имеющему хотя бы один стационарный источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Срок действия: периодичность контроля определяется планом-графиком проведения производственного контроля на источниках выбросов и на границах санитарно-защитной зоны. В случае отсутствия статьей 8.21 КоАП РФ предусматривается либо штраф до 100 тысяч рублей, либо административное приостановление деятельности предприятия на срок до 90 суток.

Различные методы очистки и типы газо- и пылеуловителей – аппаратов, предназначенных для очистки выбросов от загрязняющих веществ, должны использовать любые предприятия, которые загрязняют атмосферный воздух.

ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» используются при проектировании технологических процессов, оборудования и вентиляции, для санитарной охраны атмосферного воздуха, для профилактики неблагоприятного воздействия загрязняющих атмосферный воздух веществ на здоровье населения городских и сельских поселений [8].

Наряду с развитием промышленности происходит постоянное увеличение загрязненности атмосферного воздуха. Предприятия выбрасывают в воздух тысячи тонн пыли, химических соединений, тяжелых металлов. При этом многие предприятия недостаточно оборудованы очистными сооружениями, либо экономят энергию на неполной загрузке этих сооружений.

Загрязнение окружающей природной среды, и в частности атмосферы, чревато неблагоприятными последствиями для здоровья не только настоящего, но и последующих поколений, поэтому можно смело утверждать, что разработка мероприятий, направленных на уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу, – одна из самых актуальных на сегодняшний день проблем человечества.

Библиографический список

1. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.: Атмосфера; Интеграл, 2014. 224 с.
2. Вредные вещества в воздухе // Полезная информация на карте Москвы. URL: http://citysoft.mosmap.ru/ClassIng/ingrmed.htm#N_1 (дата обращения: 12.04.2019 г.).
3. Методические указания по основам экологии и охраны природы для студентов фармацевтического факультета / сост. А. С. Фаустов, Т. Е. Фертикова, В. И. Попов и др.; Воронежская гос. мед. акад. Воронеж: ИСТОКИ, 2008. 162 с.
4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Дата актуализации: 10.04.2019 г.
5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». Дата актуализации: 10.04.2019 г.

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

6. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий. Дата актуализации: 31.12.2017 г.

7. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ. Дата актуализации: 10.03.2019 г.

8. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дата актуализации: 17.06.2011 г.

УДК 621.317.76

И. И. Степанов

студент института военного образования

Р. Н. Целмс

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ЧАСТОТОМЕРОВ

Повсеместное внедрение цифровых форматов передачи данных и прочих методов, использующих тактирующие частоты, привело к потребности в компактных и автономных рабочих средствах измерения. Такие устройства используются для поиска или диагностирования неисправностей в работе сложных устройств на месте их работы. Этот подход позволяет сократить время демонтажных работ и простоя оборудования.

В данной работе для разработки образца экспериментальной автоматизированной установки применялись широко используемые МК Atmega16, а при разработке ПО в данной работе использовались различные среды программирования, такие как СИ и JavaScript – для программирования микроконтроллеров; графический язык LabVIEW компании National Instruments – для реализации алгоритма управления объектами, отображения и регистрации результатов измерения (контроля). Использование ЭВМ и среды программирования LabVIEW позволило существенно ускорить и облегчить процесс проведения экспериментальных исследований образцов экспериментальной автоматизированной установки, обработки и анализа результатов экспериментов за счет возможности компьютера обрабатывать данные в режиме реального времени.

Выбор метода измерения частоты определяется ее диапазоном, необходимой точностью измерения, формой сигнала, мощностью источника сигнала измеряемой частоты и другими факторами. Частота электрических сигналов измеряется методами непосредственной оценки и сравнения. К частотомерам непосредственной оценки относят частотомеры дискретного счета и конденсаторные частотомеры. Метод дискретного счета позволяет работать с наибольшим диапазоном частот, форм и амплитуд входного электронного сигнала.

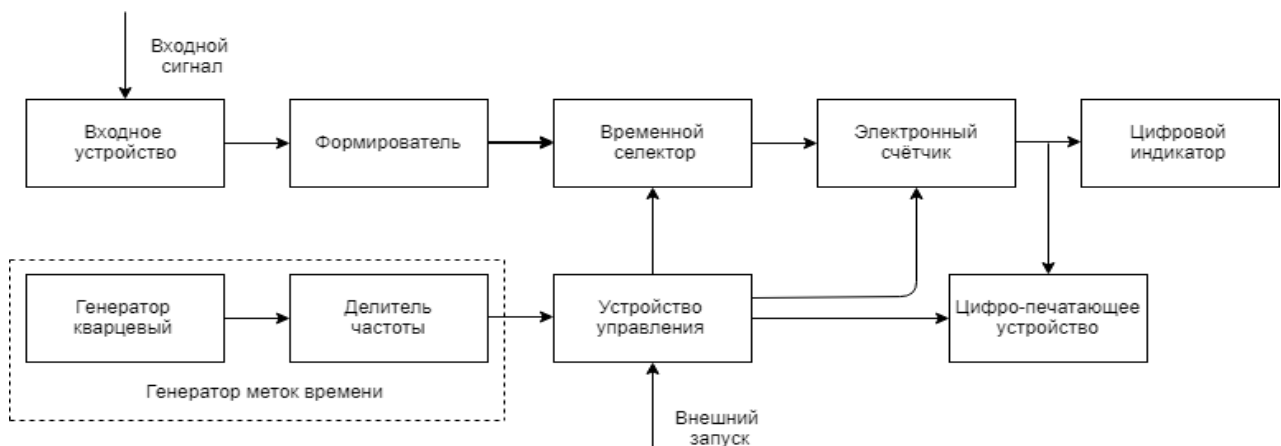


Рис. 1. Принципиальная схема частотомера

Основой современных микроконтроллеров могут стать новые микроконтроллеры, такие как Atmega16, STM32, ESP32 и др. Благодаря этому станет возможным сокращение используемых элементов, упрощение схем, снижение стоимости и энергопотребления. Принципиальная схема (рис. 1) частотомера может быть сокращена (рис. 2).

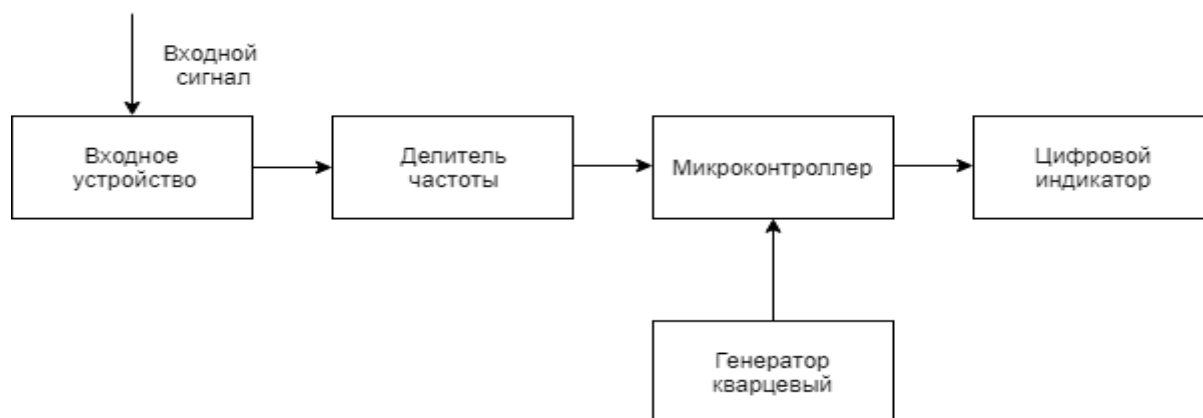


Рис. 2. Схема частотомера на микроконтроллере

Исследования современных частотомеров и их реализации позволит выявить факторы, влияющие на метрологические характеристики устройства. Благодаря этому упростится разработка устройства под заданные параметры.

Библиографический список

1. ГОСТ 8.422-81 ГСИ. Частотомеры. Методы и средства поверки.
2. Конспект лекций по дисциплине «Средства измерений военного назначения и их поверка» «ГП № 26. Измерение частоты электромагнитных колебаний». 2017.
3. ГОСТ Р 54088-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Эксплуатационная и ремонтная документация в форме интерактивных электронных технических руководств. Основные положения и общие требования.
4. Кокотов, В. З. Алгоритм плотного размещения разногабаритных элементов на плате / В. З. Кокотов. М.: Асмедия, Информационные технологии. 2010. 134 с.
5. Стемпковский, А. Л. Системная среда САПР / А. Л. Стемпковский, В. А. Шепелев, А. В. Власов. М.: Наука, 2013. 126 с.
6. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / Е. В. Судов [и др.]. М.: Академия, 2011. 200 с.

УДК 602

Е. А. Фомина

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

К. В. Епифанцев

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПОСТРОЕНИЕ ДОМА КАЧЕСТВА ДЛЯ КОНТУРОГРАФА

QFD (Quality Function Deployment, или Структурирование функций качества) – систематическая процедура, позволяющая выполнить поэтапные преобразования требований потребителей в характеристики процесса производства [1].

Основным инструментом QFD является так называемый дом качества. В нем отображается связь между фактическими показателями качества (потребительскими свойствами) и вспомогательными показателями (техническими требованиями).

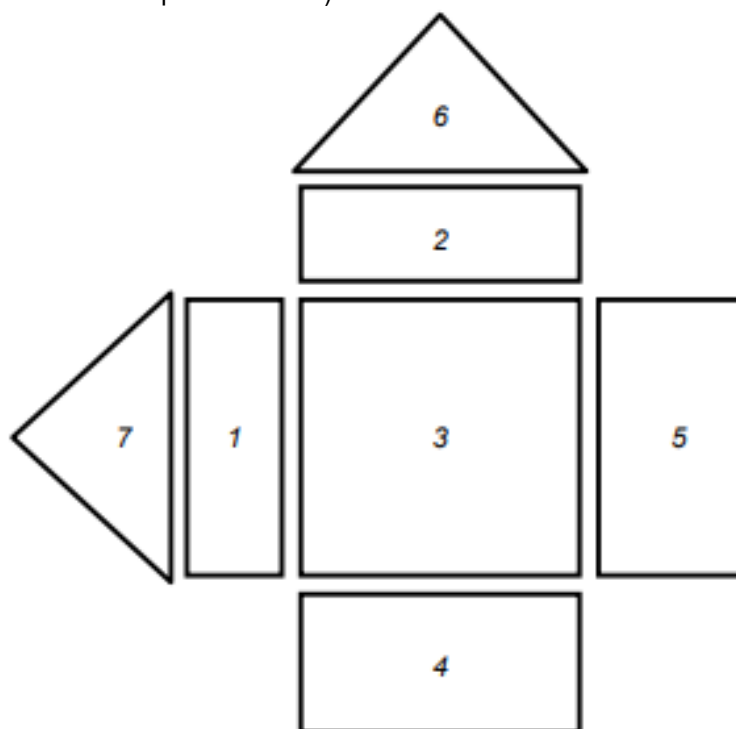


Рис. 1. Общий вид дома качества

Общий вид дома качества изображен на рис. 1, где 1 – требования потребителей; 2 – технические характеристики изделия; 3 – матрица взаимосвязи требований потребителей и технических характеристик; 4 – спецификации на исследуемое изделие и изделия-конкуренты; 5 – рейтинг важности для потребителя каждого требования и их весомость; 6 – матрица корреляции технических характеристик; 7 – матрица корреляции требований потребителей [2].

При построении дома качества требования пользователей были взяты из технического задания. Технические характеристики выявились исходя из опыта реализации аналогичных изделий.

Разработанный дом качества представлен на рис. 2. Основные ожидания потребителя ориентированы прежде всего на возможность установки гибридного детектора для одновременного контроля геометрии и шероховатости, в меньшей степени – на работоспособность в различных климатических условиях. Из представленных результатов исследования мы видим, что наибольшее значение на качество контурографа оказывает погрешность измерения.

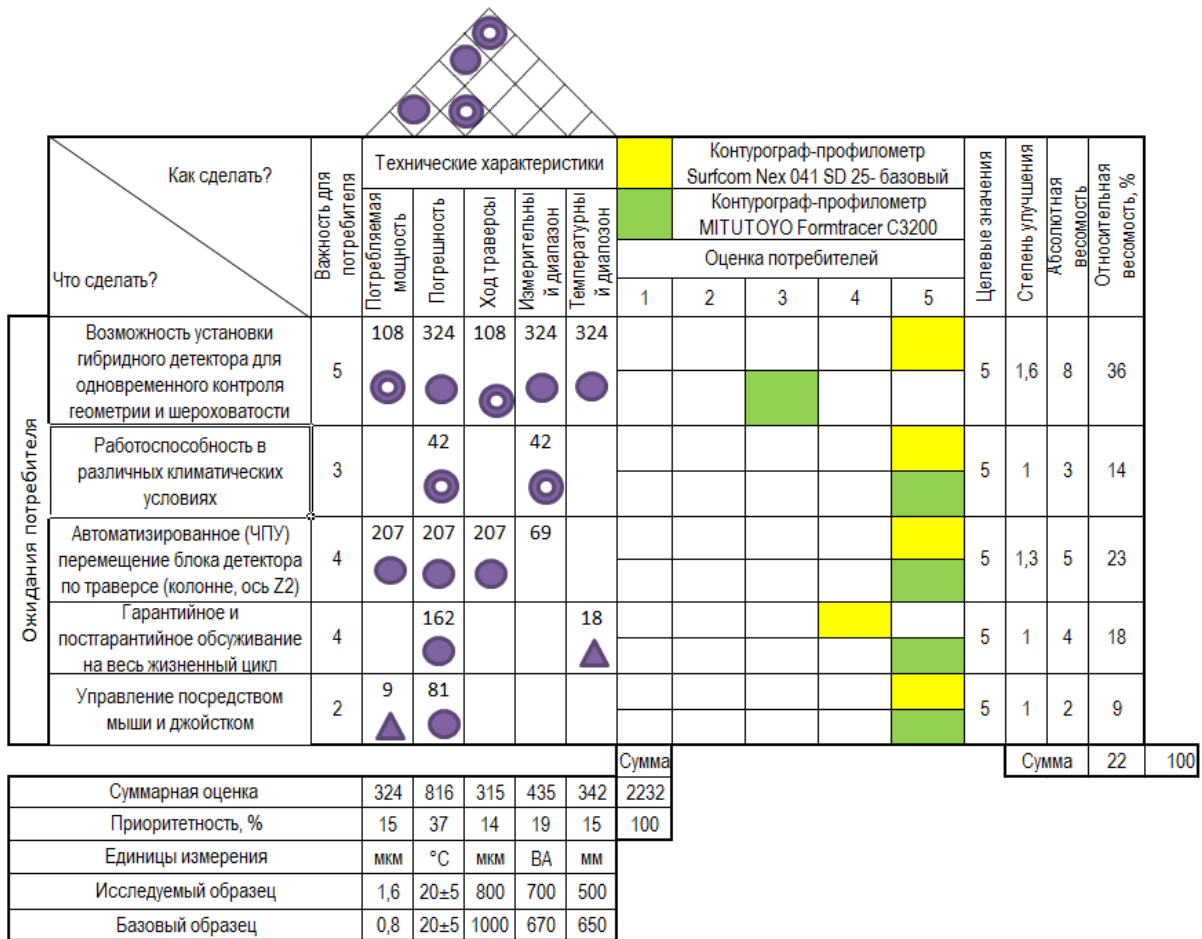


Рис. 2. Дом качества

Библиографический список

1. Суворова, Л. А. Применение QFD-методологии и статических методов в управлении качеством продукции на промышленном предприятии / Л. А. Суворова, Р. П. Цвилов // Качество. Инновации. Образование. 2005. № 2. С. 72–78.
2. Ходыревская, С. В. Применение концепции «Дом качества» для улучшения качества услуг / С. В. Ходыревская // Методы менеджмента качества. 2009. № 12. С. 48–50.

УДК 517.9

П. П. Ульянова, А. А. Беланова

студенты кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

Е. А. Агапова

кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНОЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУКИ

Математика считается базисом в естественных науках, своего рода азбука, на которой все основывается. Производная создает условия для развития многих областей науки. Анализируя и сравнивая, можно найти новые методы научного познания, без которых не было бы эволюции в технологиях, а следовательно, и жизни общества. Н. И. Лобачевский говорил: «...нет ни одной области в математике, которая когда-либо не окажется применимой к явлениям действительного мира...». А так ли это?

Дифференциальные исчисления – раздел математики, в котором изучаются производные и дифференциалы функций и их применение к исследованию функций [1]. Большой вклад в изучение дифференциального исчисления внесли Лопиталь, Бернуллы, Лангранж, Эйлер, Гаусс, но ввели понятие производной Исаак Ньютон и Готфрид Лейбниц в конце XVII столетия для решения двух основных задач:

- нахождения касательной к произвольной линии,
- определения скорости при произвольном законе движения $V(t) = S'(t)$.

Исследуя функцию на монотонность, экстремумы, промежутки выпуклости и вогнутости, мы используем производную, но также есть другие области науки, где дифференциальные исчисления являются неотъемлемой частью решения. Рассмотрим некоторые науки, в которых применяется производная.

Физика

Российский математик XIX в. Панфутий Львович Чебышев говорил, что «особенную важность имеют те методы науки, которые позволяют решать задачу, общую для всей практической деятельности человека, например, как располагать своими средствами для достижения наибольшей выгоды». Это и есть один из смыслов производной: нахождение оптимального варианта решения задачи. Перед инженерами-технологами стоит цель организовать производство так, чтобы выпускалось как можно больше продукции. Конструкторы пытаются разработать для космического корабля приборы наименьшей массы. В физике производная применяется следующим образом:

- скорость как производная от пути $v = \frac{ds}{dt}$,
- ускорение как производная скорости $a = \frac{dv}{dt}$,
- мгновенное значение силы переменного тока $I = \frac{dq}{dt}$,
- мгновенное значение ЭДС электромагнитной индукции $\varepsilon = \frac{d\phi}{dt}$,
- скорость распада радиоактивных элементов $-\lambda N = \frac{dN}{dt}$,
- мощность $P = \frac{dA}{dt}$, и т. д.

Физика изучает движение и изменение материи, поэтому производная лежит в основе решения многих физических задач. Рассмотрим одну из них.

Идеальный газ с показателем адиабаты γ совершает процесс по закону $p = p_0 - \alpha V$, где α и p_0 – положительные постоянные, V – объем. При каком значении объема энтропия S газа окажется максимальной?

Пусть (p_1, V_1) – контрольная точка

$$p = p_0 - \alpha V.$$

И пусть (p, V) – любая другая точка.

Разность энтропии

$$\Delta S = S(p, V) - S(p_1, V_1) = C_V \ln \frac{p}{p_1} + C_p \ln \frac{V}{V_1} = C_V \ln \frac{p_0 - \alpha V}{p_1} + C_p \ln \frac{V}{V_1}.$$

Для экстремума ΔS

$$\frac{\partial \Delta S}{\partial V} = \frac{-\alpha C_V}{p_0 - \alpha V} + \frac{C_p}{V} = 0.$$

Или $C_p(p_0 - \alpha V) - \alpha V C_V = 0$.

Или $\gamma(p_0 - \alpha V) - \alpha V = 0$, или $V = V_m = \frac{\gamma p_0}{\alpha(\gamma+1)}$.

Это дает максимум ΔS , потому что $\frac{\partial^2 \Delta S}{\partial V^2} < 0$.

Экономика

Исследование ряда экономических процессов приводит к построению математических моделей, основой которых являются дифференциальные уравнения. Применение дифференциальных уравнений первого порядка на примере построения модели естественного роста выпуска продукции [2].

$Y(t) = py(t)$ – доход к моменту времени t , где p – фиксированная цена,

$y(t)$ – количество продукции, реализованное на момент времени t ,

$I(t) = mY(t) = mpy(t)$, где m – норма инвестиции: $0 < m < 1$,

$y'(t) = I(t) = lmpy(t)$ или $y' = ky$, где $k = mpl$.

Полученное дифференциальное уравнение первого порядка является уравнением с разделяющимися переменными.

В общем случае зависимость цены p реализованной продукции от ее объема y является убывающей функцией [3], поэтому модель роста выпуска продукции в условиях конкурентного рынка примет вид

$$y'(t) = lmp(y).$$

Пример. Известно, что кривая спроса имеет вид $p(y) = 6 - 4y$, норма акселерации $1/l = 2$, норма инвестиций $m = 0,5$, $y(0) = 0,5$. Найдём объем реализованной продукции и его значение при $t = 4$.

Подставляя данные задачи в уравнение (1), получим

$$y'(t) = \frac{0,5}{2} (6 - 4y)y.$$

После разделения переменных и интегрирования уравнение примет вид

$$\int \frac{dy}{\left(\frac{3}{2}\right)^2 - \left(2y - \frac{3}{2}\right)^2} = \int 0,25 dt + c_1.$$

Применив к интегралу, стоящему в левой части, метод выделения полного квадрата, получим

$$\ln \left| \frac{2y}{3-2y} \right| = 0,75t + c_1 \Rightarrow \frac{y}{1,5-y} = e^{0,75t+c_1}, \text{ где } C = e^{c_1}.$$

Следовательно, общее решение дифференциального уравнения (2) будет таким:

$$y = \frac{1,5C e^{0,75t}}{1 + C e^{0,75t}}.$$

Используя начальное условие $y(0) = 1$, найдём константу $C = 0,5$.

Тогда $y(4) = \frac{0,75e^{0,75 \cdot 4}}{1 + 0,5e^{0,75 \cdot 4}} \approx 1,36$ – объем реализованной продукции в момент времени $t = 4$.

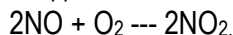
Химия

В химии дифференциальное исчисление нашло широкое применение для построения математических моделей химических реакций и последующего описания их свойств.

Производную в химии используют для определения очень важной вещи – скорости химической реакции, одного из решающих факторов, который нужно учитывать во многих областях научно-производственной деятельности:

$$V(t) = p'(t) \quad [4].$$

Газовая смесь состоит из оксида азота (NO) и кислорода (O₂). Требуется найти концентрацию O₂, при которой содержащийся в смеси оксид азота окисляется с наибольшей скоростью:



Пусть x – концентрация оксида азота, y – концентрация кислорода, тогда $V = Kx^2y$, где K – константа скорости реакции, зависящая только от температуры и не зависящая от концентрации реагирующих веществ.

Концентрацию газов выразим в объемных процентах. Весь объем газовой смеси примем за 100%:

$$y = 100 - x, V = Kx^2(100 - x), x \in [0; 100];$$

$$V'(x) = 200K - 3Kx^2.$$

$200K - 3Kx^2 = 0$. Решая квадратное уравнение, получаем два корня: $x_1 = 0$; $x_2 = 66,7$.

Ответ: при концентрации O₂ равной 33,3% оксид азота окисляется с наибольшей скоростью.

Применение производной функции весьма многообразно не только в математике, но и в других науках. Производная также успешно применяется при решении различных прикладных задач в технике и жизни.

Библиографический список

1. Пискунов, Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для вузов / Н. С. Пискунов. Т. 1. 13-е изд. М.: Наука, 1985. 432 с. (Главная редакция физико-математической литературы).
2. Попов, А. М. Экономико-математические методы и модели / А. М. Попов, В. Н. Сотников; под общ. ред. А. М. Попова. 3-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2015. 345 с.
3. Кремер, Н. Ш. Высшая математика для экономистов / Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко, М. Н. Фридман. М: ЮНИТИ, 2010. 479 с.
4. Коровин, Н. В. Общая химия / Н. В. Коровин. 14-е изд., перераб. М.: Академия, 2013. 496 с.

УДК 517.51

К. Д. Соколова, Д. А. Груздев

студенты кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов

Г. Н. Дьякова

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ФУНКЦИЯ ТАКАГИ

Функция Такаги – это непрерывная, нигде не дифференцируемая функция [1]. Первый пример функции такого рода был построен Больцано, позже были построены примеры Риманом и Вейерштрассом [2]. В 1903 г. Тейджи Такаги в диссертации «Об абелевых полях в области рациональных комплексных чисел» [3] построил еще один пример подобной функции. Функция Такаги определяется с помощью ряда

$$T(x) = \sum_{n=1}^{\infty} 2^{1-n} f_1(2^{n-1}x),$$

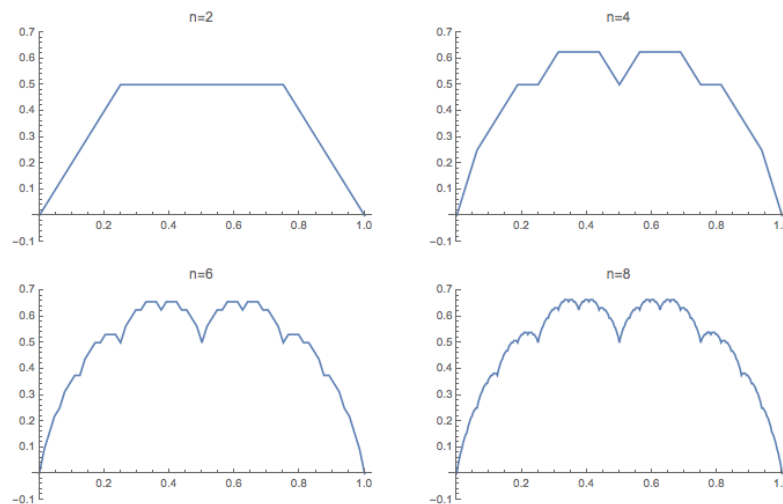
где

$$f_1(x) = \min(\{x\}, 1 - \{x\}).$$

Здесь $\{x\}$ – дробная часть числа x .

Функция Такаги относится к классу сингулярных функций. Такие функции возникают при изучении стохастических процессов произвольной природы, что обуславливает их использование в широчайшем диапазоне дисциплин [4]. Функция Такаги возникает, в частности, при фрактальном подходе к обработке сверхслабых сигналов и малоконтрастных изображений [5], при моделировании нечетких систем, при рассмотрении биржевых курсов, при использовании вейвлет-преобразований в компьютерных технологиях для сжатия баз данных [4].

Функция $f_1(x) - 1$ – периодическая. На рисунке приведена форма кривой Такаги при различных значениях n .



Форма кривой Такаги

Функция Такаги в каждой целой точке имеет локальный минимум, а в полуцелой – локальный максимум, однако не имеет конечной производной ни в одной точке. При этом могут существовать такие точки, в которых производная будет равна (+) или (–) бесконечности. В статье 1936 г. И. Г. Бигл предложил критерий, который позволяет определить, имеет ли функция Такаги бесконечную производную в данной точке по двоичному представлению координаты этой точки [6]. Ошибочность данного критерия показана в 2016 г. А. Б. Плаченовым [7].

Показательный класс Такаги – это обобщение функции Такаги. Все функции, входящие в этот класс, аналогичны функции Такаги. Хата и Ямагути заменили последовательность коэффици-

ентов $\frac{1}{2^n}$ на произвольную последовательность констант и таким образом получили новое семейство функций [8]. Они имеют один вещественный параметр и определяются с помощью ряда

$$T_v(x) = \sum_{n=0}^{\infty} v^n T_0(2^n x),$$

где $T_0(x)$ – расстояние между точкой $x \in \mathbb{R}$ и ближайшей к ней целой точкой, v – вещественный параметр.

Библиографический список

1. *Hildebrandt, T. H.* A Simple Continuous Function with a Finite Derivative at No Point. / T. H. Hildebrandt // The American Mathematical Monthly. 1933. Vol. 40. No. 9. P. 547-548.
2. *Ульянов, А. П.* Основы математического анализа для студентов-физиков. Ч. 6. Функциональные ряды и теория Лебега / А. П. Ульянов. Новосибирск: НГУ, 2016. 72 с.
3. *Takagi, T.* A simple example of the continuous function without derivative. / T. Takagi // Proc. Phys. Math. Soc. Japan. 1903. Vol. 1. P. 176–177.
4. *Тимофеев, Е. А.* Асимптотика моментов функции Такаги / Моделирование и анализ информационных систем. 2016.23(1):5-11.
5. Новейшие методы обработки изображений / В. А. Герман [и др.]; под. ред. А. А. Потапова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
6. *Begle, E. G.* On Hildebrandt's Example of a Function Without a Finite Derivative / E. G. Begle, W. L. Ayres // The American Mathematical Monthly. 1936. Vol. 43. No 5. P. 294–296.
7. *Плаченов, А. Б.* Некоторые свойства функции Такаги / А. Б. Плаченов // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем. СПб.: ГУАП, 2016. С. 224–225.
8. *Hata, M.* Takagi Function and its Generalization / M. Hata, M. Yamaguti // Japan J. Appl. Math. Vol. 1. 1984. P. 183–199.

УДК 004.27

А. И. Соловьев, Е. А. Токмакова

студенты кафедры вычислительных систем и сетей

Д. В. Бутенина

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ТРОИЧНАЯ ЛОГИКА

Современные компьютеры в большинстве своем основаны на бинарной (двоичной) логике. Но существуют компьютеры на альтернативных логиках. Например, в СССР была разработана троичная ЭВМ «Сетунь».

Троичный компьютер подразумевает использование троичной системы счисления (СС). В то время как в двоичной СС используются две цифры (0 и 1), в троичной СС можно использовать три цифры: 0, 1, 2. По аналогии с двоичной и десятичной СС эта СС будет несимметричной.

Троичная симметричная СС отличается от привычных нам несимметричных СС. В ней используются три цифры: 1, 0, 1 (рис. 1). Всякое число, записанное в троичной симметричной СС, можно представить в виде суммы целых степеней числа 3, причем если в данном разряде троичного изображения числа стоит цифра 1, то соответствующая этому разряду степень числа 3 входит в сумму со знаком «+», если же цифра -1, то со знаком «-», а если цифра 0, то вовсе не входит [1], поэтому троичная симметричная СС позволяет записывать отрицательные числа без дополнительного знака «-».

Десятичная система	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Троичная несимметричная	-100	-22	-21	-20	-12	-11	-10	-2	-1	0	1	2	10	11	12	20	21	22	100
Троичная симметричная	$\bar{1}00$	$\bar{1}01$	$\bar{1}1\bar{1}$	$\bar{1}10$	$\bar{1}11$	$\bar{1}\bar{1}$	$\bar{1}0$	$\bar{1}\bar{1}$	$\bar{1}$	0	1	$1\bar{1}$	10	11	$1\bar{1}\bar{1}$	$1\bar{1}0$	$1\bar{1}1$	$10\bar{1}$	100

Рис. 1. Сравнение троичной симметричной и несимметричной СС

-----	-	0	+	
-----	-	-	-	тождественный «-»
	-	-	0	сдвиг вниз (shift down) (слабый == +)
	-	-	+	сильный == +
	-	0	-	слабый == 0
	-	0	0	слабый != -
	-	0	+	повторение
	-	+	-	сильный == 0
	-	+	0	обмен «0» и «+» (negation)
	-	+	+	сильный != -
	0	-	-	слабый == -
	0	-	0	слабый != 0
	0	-	+	обмен «0» и «-»
	0	0	-	слабый != +
	0	0	0	тождественный «0»
	0	0	+	обнуление «-»
	0	+	-	вращение вверх (rotate up)
	0	+	0	сдвиг вверх с обнулением «+»
	0	+	+	сдвиг вверх (shift up)
	+	-	-	сильный == -
	+	-	0	вращение вниз (rotate down)
	+	-	+	сильный != 0
	+	0	-	инверсия (обмен «-» и «+»)
	+	0	0	вращение вниз с сохранением «0»
	+	0	+	удаление знака
	+	+	-	сильный != +
	+	+	0	инверсия сдвига вниз
	+	+	+	тождественный «+»

Рис. 2. Унарные операции троичной логики

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Кроме того, троичный компьютер подразумевает троичную логику, которая включает в себя все множество двоичной логики, в том числе и булеву алгебру, давая при этом возможность реализовывать и другие алгебры. В то время как двоичная логика дает возможность осуществить 4 унарные и 16 бинарных операций, троичная способна осуществлять 27 унарных (рис. 2) и 19 683 бинарных операций [2].

<p>AND</p> <pre> +-----+ - 0 + +-----+ - - - - 0 - 0 0 + - 0 + +-----+ </pre>	<p>OR</p> <pre> +-----+ - 0 + +-----+ - - 0 + 0 0 0 + + + + + +-----+ </pre>	<p>XOR</p> <pre> +-----+ - 0 + +-----+ - - 0 + 0 0 0 0 + + 0 - +-----+ </pre>	<p>EQV</p> <pre> +-----+ - 0 + +-----+ - + 0 - 0 0 0 0 + - 0 + +-----+ </pre>
<p>Magnitude</p> <pre> +-----+ - 0 + +-----+ - 0 - - 0 + 0 - + + + 0 +-----+ </pre>	<p>Mean</p> <pre> +-----+ - 0 + +-----+ - - 0 - 0 0 + 0 + - 0 - +-----+ </pre>	<p>IXMIN</p> <pre> +-----+ - 0 + +-----+ - + - - 0 - + 0 + - 0 + +-----+ </pre>	<p>XMAX</p> <pre> +-----+ - 0 + +-----+ - - 0 + 0 0 - + + + + - +-----+ </pre>

Рис. 3. Таблицы истинности некоторых бинарных операций троичной логики

На рис. 3 приведены некоторые бинарные операции троичной логики. По аналогии с законами булевой алгебры в троичной логике существуют свои законы (рис. 4).

$0 A = A$ $2 A = 2$ $0 \downarrow A = 0$ $2 \downarrow A = A$ $0 \rightarrow A = (A \cap) \downarrow$ $1 \rightarrow \bar{A} = ((A \cap) \downarrow) \cap$ $2 \rightarrow \bar{A} = (A \cap) \downarrow$ $0 \rightarrow \bar{A} = 2 \rightarrow A$ $A A = A$ $A \downarrow A = A$ $A \rightarrow \bar{A} = (0 \rightarrow A) \cup$ $A \equiv A = 1$ $A \equiv \bar{A} = A$ $A \equiv 0 = A \nearrow$ $A \equiv 1 = A$	$A \equiv 2 = A \searrow$ $0 \equiv A = \bar{A} \nearrow$ $1 \equiv A = \bar{A}$ $2 \equiv A = \bar{A} \searrow$ $(A \uparrow 1) \uparrow 1 = A$ $(A \cap) \cup = A$ $(A \cup) \cap = A$ $(A \cap \cap) = A \cup$ $(A \cup \cup) = A \cap$ $A (A \downarrow B) = A$ $A \downarrow (A B) = A$ $(A \equiv B) = (\bar{B} \equiv \bar{A})$ $1 \downarrow A = (A \nearrow) \cup$ $1 A = (A \searrow) \cap$ $\bar{\bar{A}} = A$
---	---

Рис. 4. Законы троичной логики [2]

Примечания к рис. 4: (0, 1, 2) непосредственно соответствуют (+, 0, -); условные обозначения унарных и бинарных операций, представленных на рисунке: \nearrow – сдвиг вверх, \searrow – сдвиг вниз, \cap – вращение вверх, \cup – вращение вниз, \downarrow – AND, \uparrow – OR, $\uparrow \uparrow$ – XMAX (исключающий MAX), \rightarrow – Mean, \equiv – Magnitude.

Для реализации элементной базы удобнее всего использовать одну базисную операцию, например, NOR или NAND в двоичной. Базис для троичной логики найти труднее, но существует функция, которая является базисом в любой логике. Это функция Уэбба:

$$W(X, Y) = X + 1, \text{ если } X == Y;$$

$$0, \text{ если } X \neq Y [2].$$

Функция Уэбба для троичной логики приведена на рис. 5.

--	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--
		-	0	+						
--	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--
-		0	0	0						
0		0	+	0						
+		0	0	-						
--	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Рис. 5. Базис троичной логики

Троичная логика широко применяется в компьютерной сфере. Она используется в языке запросов SQL [3]. Перспективным применением троичной логики является создание асинхронных процессоров, которые могут синхронизироваться через третье состояние, минуя масштабные схемы синхронизации [4]. Также троичная логика применяется в троичной ассоциативной памяти, существенно ускоряющей поиск данных [5].

Будущее троичной логики в реализации полной и безошибочной поддержки современных языков программирования. Также возможно создание троично-двоичных компьютеров с полной поддержкой как существующего ПО на троичной логике, так и ПО на двоичной.

Библиографический список

1. Брусенцов, Н. П. Малая цифровая вычислительная машина «Сетунь» / Н. П. Брусенцов [и др.]. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1965. 145 с.
2. Троичная логика. URL: <http://phg.su/basis2/X19.HTM> (дата обращения: 11.04.2019).
3. SQL. URL: <https://aksenov.in/guap/db/lectures/doku.php?id=lectures:lecture4> (дата обращения: 11.04.2019).
4. Троичный компьютер: Да, нет, может быть: Логика. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/11918-troichnyy-kompyuter-da-net-mozhet-byt-logika/#part2> (дата обращения: 11.04.2019).
5. Интеллектуальная память заменит TCAM и DRAM. URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/news/9318/doc/52387> (дата обращения: 11.04.2019).

УДК 621.382

А. И. Соловьев, Е. А. Токмакова

студенты кафедры вычислительных систем и сетей

Д. В. Бутенина

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ПЕЧАТНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Возможность применения процессов полиграфии для изготовления электронных компонентов активно исследуется с начала этого столетия. Эти процессы для мира электроники, безусловно, новы, и технологии формирования компонентов отличаются от традиционных [1].

В современном мире сложилось как минимум две парадигмы технических процессов производства электроники: традиционная и печатная. Печатную электронику чаще всего используют тогда, когда изделий должно быть много, а их себестоимость – низкой.

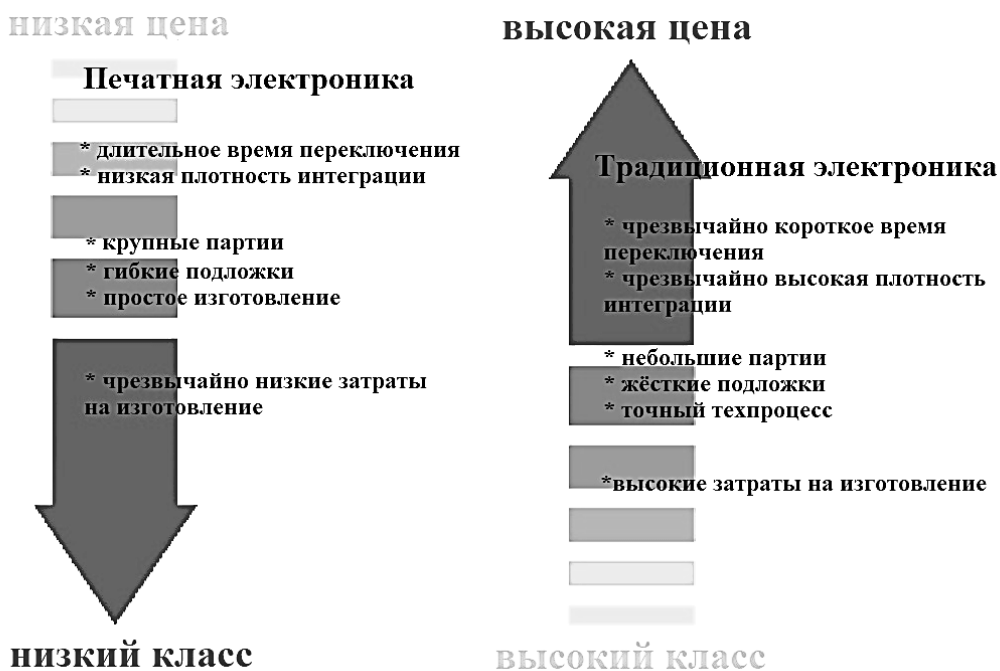


Рис. 1. Сравнение печатной и традиционной электроники

Печатные технологии делятся на листовые и рулонные. Листовые методы, такие как струйная и трафаретная печать, лучше всего подходят для высокоточной работы при небольших объемах. Ротогравюрная, офсетная и флексографская печати более приемлемы при больших объемах производства, например, при изготовлении солнечных батарей, когда достигается производительность 10 000 м²/ч.

В то время как офсетная и флексографская печати используются главным образом для неорганических и органических проводников (последняя также и для диэлектриков), ротогравюрная печать, благодаря высокому качеству слоев, особенно хорошо подходит для органических полупроводников и переходов полупроводник-диэлектрик в транзисторах. В сочетании с высоким разрешением ротогравюрная печать подходит также для неорганических и органических проводников. Органические полевые транзисторы и интегральные схемы могут быть полностью изготовлены с помощью серийных методов печати [2].

Изобретатели из Саарского университета и Института информатики общества Макса Планка (Германия) показали, как можно печатать гибкие тонкие одно- или двухсторонние цветные сенсорные дисплеи на бумаге и других материалах. В отличие от обычного производства гибких/сенсорных

дисплеев данный способ не требует сложного оборудования. Дисплеи можно печатать в домашних условиях с помощью струйного принтера и стандартных графических редакторов.

Единственное, чего требует данная технология, это специальные чернила и строгая очередность нанесения слоев при печати:

- слой проводника из серебра;
- слой диэлектрика;
- слой люминофора;
- прозрачный проводник.

Два слоя проводников заключают между собой слой люминофора, который светится, когда заряд проходит через чернила. Толщина дисплея – от 120 мкм (0,12 мм). Дисплей может содержать высокодетализированные сегменты с разрешением, сопоставимым с разрешением лазерной печати в 250 dpi. Чтобы сделать дисплей двусторонним, достаточно перевернуть поверхность и повторить процесс [3].

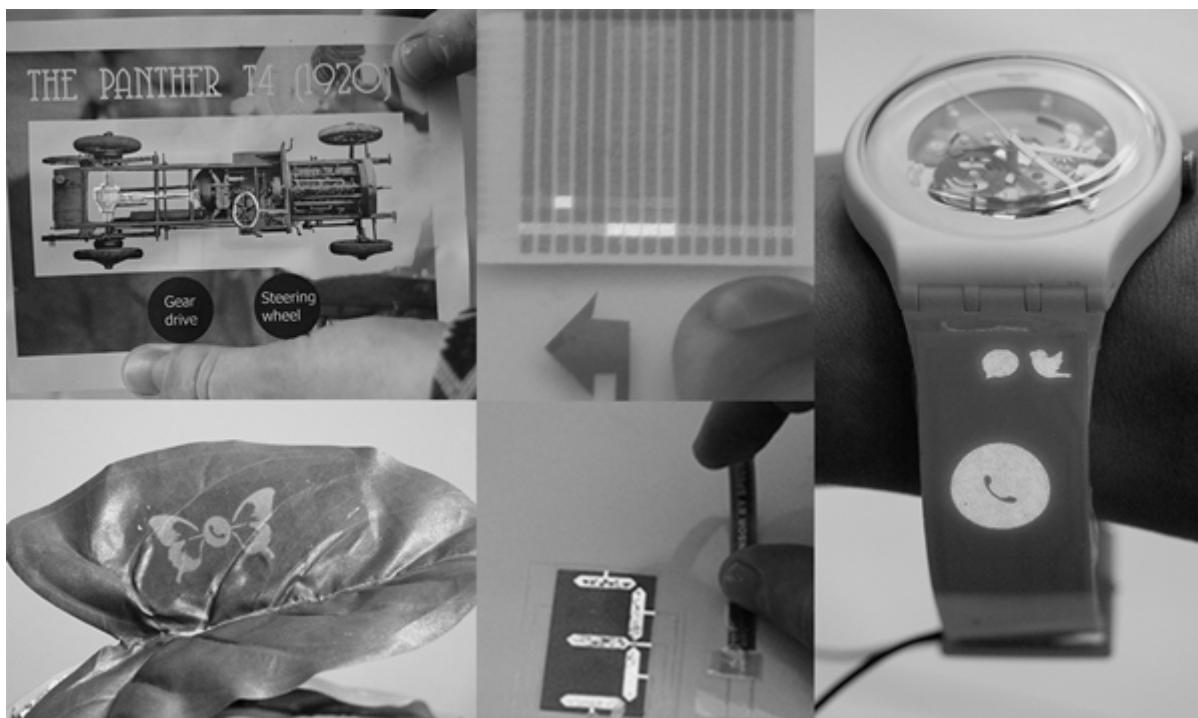


Рис. 2. Применение технологии печати гибких сенсорных дисплеев

Задача состоит в том, чтобы пойти дальше в домашней печатной электронике. Метод печати дисплеев позволяет распечатать многие электронные компоненты. Можно создать техпроцесс, когда в принтер с системой непрерывной подачи чернил (СНПЧ) будут заправлены вместо обычных чернил чернила четырех типов:

- металлосодержащие;
- содержащие полупроводник p-типа;
- содержащие полупроводник n-типа;
- содержащие люминофор.

Далее, после создания в графическом редакторе послойной схемы электронного компонента в цветовой модели CMYK, четыре канала которой будут соответствовать четырем типам чернил, осуществляется послойная печать данного компонента на пленке, предотвращающей впитывание чернил в запечатываемую поверхность. Между слоями проводников необходимо печатать слой диэлектрика с прорезями для перемычек между слоями. В качестве слоя диэлектрика можно использовать один из типов полупроводников.

Многослойная печать, однако, сопряжена с рядом трудностей. Так, например, с увеличением количества слоев повышается хрупкость изделия. Кроме того, при печати в несколько слоев стоит учитывать погрешность повторной печати по уже запечатанной поверхности, беря во внимание

свойства красок, которые нужно тонко подбирать по совместимости и просушивать после печати каждого нового слоя. Сложность подобной печати состоит еще и в том, что химический состав доступных в продаже специализированных чернил скрывается, а потому их точные электрические характеристики неизвестны. Технология печати люминофором также нова и пока скрыта.

Однако несмотря на трудности, с которыми можно столкнуться в процессе создания печатной электроники дома, доступность печати электронных компонентов в отсутствие сложного оборудования очень заманчива, а потому оправдывает необходимость экспериментов и «толстый» техпроцесс (толщина «пикселя», печатаемого на принтере, измеряется в микрометрах, а не нанометрах, которые доступны промышленности).

Печатная электроника уже используется или рассматривается к применению для:

- меток радиочастотной идентификации (RFID);
- мониторинга;
- хранения данных;
- дисплеев и визуальных эффектов;
- игрушек;
- тонкопленочных солнечных элементов [4].

Библиографический список

1. *Шурыгина, В.* Печатная электроника: Что это такое, как она создается, чего от нее ждать? Ч. 1 / В. Шурыгина // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2010. № 3. С. 2–9.
2. *Blayo, A.* Printing Processes and Their Potential for RFID Printing/ A. Blayo, B. Pineaux // Joint sOC-EUSAI Conference (Grenoble, October 2005). 2005. P. 27–30.
3. Немцы изобрели способ печатать гибкие сенсорные дисплеи на обычном принтере. URL: <https://habr.com/ru/company/madrobots/blog/239605> (дата обращения: 11.04.2019).
4. Печатная электроника. URL: http://machinepedia.org/index.php/Печатная_электроника (дата обращения: 12.04.2019).

УДК 535.32

А. Е. Фарафонова, Д. А. Якимова

студенты кафедры прикладной математики

В. Г. Фарафонов

доктор физико-математических наук, профессор – научный руководитель

В. И. Устимов

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И СТРУКТУРЫ МАЛЫХ ОДНОРОДНЫХ И ДВУХСЛОЙНЫХ СФЕРОИДОВ НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Проблему рассеяния света малыми телами, когда его размеры много меньше длины волны излучения, целесообразно решать в рамках приближения Релея [1]. До последнего времени были известны лишь строгие результаты для однородных сфероидов и двухслойных частиц, сфероидальное ядро которых было софокусно самой частице. При нарушении этого условия обоснованное построение приближения Релея было невозможно.

Ситуация изменилась, после того как удалось построить строгое решение электростатической задачи для неконфокальных сфероидов [2]. Численное моделирование показало [3], что в этом случае можно приближенно построить релеевское приближение, которое, с одной стороны, совпадает с точным для конфокальных сфероидов, а с другой стороны, имеет погрешность менее 0,1% при нарушении условия софокусности.

В данной работе, опираясь на указанные выше результаты, рассматривается влияние формы и структуры малых однородных и двухслойных сфероидов на их оптические свойства.

В релеевском приближении характеристики рассеянного излучения определяются поляризуемостью частицы α . В частности, при направлении напряженности внешнего электрического поля E_0 вдоль одной из осей однородного или двухслойного сфероида сечения поглощения и рассеяния можно записать следующим образом:

$$C^{abs} = 4\pi k_1 \text{Im} \alpha, \quad (1)$$

$$C^{sca} = \frac{8}{3} \pi k_1^4 |\alpha|^2, \quad (2)$$

где k_1 – волновое число среды вне частицы. Если ось вращения частицы совпадает с осью z декартовой системы координат (x, y, z) , то $\alpha = \alpha_z$ или $\alpha = \alpha_x$, так как $\alpha_x = \alpha_y$.

Для однородной сфероидальной частицы выражение для поляризуемости хорошо известно [1]:

$$\alpha_z = \frac{(\varepsilon - 1)V}{1 + (\varepsilon - 1)L_z}, \quad (3)$$

где диэлектрическая проницаемость частицы ε связана с комплексным показателем преломления $\varepsilon = m^2 = (n + ki)^2 = (n^2 - k^2) + 2nki$. Объем частицы V и геометрический фактор L_z вычисляются по формулам

$$V = \frac{4\pi}{3} ab^2, L_z = (\xi^2 - 1) \left(\frac{\xi}{2} \ln \frac{\xi + 1}{\xi - 1} - 1 \right) \quad (4)$$

для вытянутых сфероидов и

$$V = \frac{4\pi}{3} a^2 b, L_z = (\xi^2 + 1) \left(1 - \xi \arctan \frac{1}{\xi} \right) \quad (5)$$

для сплюснутых. Здесь вытянутая радиальная сфероидальная координата $\xi = (1 - (b/a)^2)^{-1/2}$, а сплюснутая радиальная сфероидальная координата $\xi = ((a/b)^2 - 1)^{-1/2}$, где a и b – большая и малая полуоси сфероида соответственно.

С учетом соотношений (1–3) формулы для сечений поглощения и рассеяния имеют вид

$$C^{abs} = 4\pi k_1 \frac{2\pi kV}{\left(1 + (n^2 - k^2 - 1)L_z\right)^2 + 4n^2 k^2 L_z^2}, \quad (6)$$

$$C^{sca} = \frac{8}{3} \pi k_1^4 \frac{V^2 \left((n^2 - k^2 - 1)^2 + 4n^2 k^2 \right)}{\left(1 + (n^2 - k^2 - 1)L_z\right)^2 + 4n^2 k^2 L_z^2}. \quad (7)$$

Для другой ориентации частицы относительно внешнего поля вместо геометрических факторов L_z следует использовать факторы $L_x = 1 - 2L_z$, так как для сфероидов справедливо соотношение $L_x + L_y + L_z = 1$.

При анализе влияния формы сфероида на сечения целесообразно рассмотреть величины сечений, нормированные на сечения эквиобъемных шаров, т.е. шаров, имеющих тот же объем. В результате, учитывая геометрический фактор шара $L_z = 1/3$, получим

$$C_{norm}^{abs} = C^{abs} / C_{sph}^{abs} = 4\pi k_1 \frac{\left(1 + (n^2 - k^2 - 1)/3\right)^2 + \frac{4}{9} n^2 k^2}{\left(1 + (n^2 - k^2 - 1)L_z\right)^2 + 4n^2 k^2 L_z^2} = C^{sca} / C_{sph}^{sca} = C_{norm}^{sca}. \quad (8)$$

Таким образом, нормированные сечения поглощения и рассеяния для однородных сфероидов совпадают. На кривых 1а и 1б представлена зависимость нормированных сечений от отношения полуосей однородного сфероида, т.е. от степени асферичности частицы. Выбран комплексный показатель преломления $m = 1,7 + 0,5i$, что примерно соответствует саже, полученной от горения ацетилена или пропана.

По сравнению с шаром сечения для вытянутых сфероидов (см. рисунок) увеличиваются с ростом отношения полуосей a/b примерно в 2,7 раза, а для сплюснутых (1б) – уменьшаются в 3,6 раза. Это связано с тем, что геометрический фактор L_z растет от дисков ($L_z = 0$) к иглам ($L_z = 1$). Из соотношений (8) следует, что максимальное различие составляет $|\varepsilon|^2 = (n^2 + k^2)^2 = 9,86$ раз. Важно отметить, что приближение Релея применимо к очень маленьким частицам, однако при расчетах величина большой полуоси сфероида выбиралась за единицу масштаба – $a_1 = 1$, в котором измерялись другие геометрические величины. При перерасчете к реальным единицам требуется учитывать, что поляризуемость пропорциональна объему (см. (3) и (9–10)), а сечения имеют размерность площади (см. (1–2)). Заметим, что нормированные сечения безразмерны, поэтому не зависят от масштаба.

Для поляризуемости двухслойных сфероидов в приближении 2×2 [3] имеет место сравнительно простая формула:

$$\alpha_z = -\frac{4\pi}{3} \frac{A_{11}^{(1)} A_{31}^{(2)} + A_{13}^{(1)} A_{11}^{(2)}}{A_{31}^{(1)} A_{31}^{(2)} + A_{33}^{(1)} A_{11}^{(2)}}, \quad (9)$$

$$A_{31}^{(j)} = 1 + (\varepsilon_j - 1)L_z^j,$$

$$A_{33}^{(j)} = (\varepsilon_j - 1) \frac{L_z^j (L_z^j - 1)}{\bar{V}_j},$$

$$A_{11}^{(j)} = -(\varepsilon_j - 1)a_j b_j^2 = -(\varepsilon_j - 1) \frac{3}{4\pi} V_j = -(\varepsilon_j - 1)\bar{V}_j, \quad (10)$$

$$A_{13}^{(j)} = 1 - (\varepsilon_j - 1)(L_z^j - 1).$$

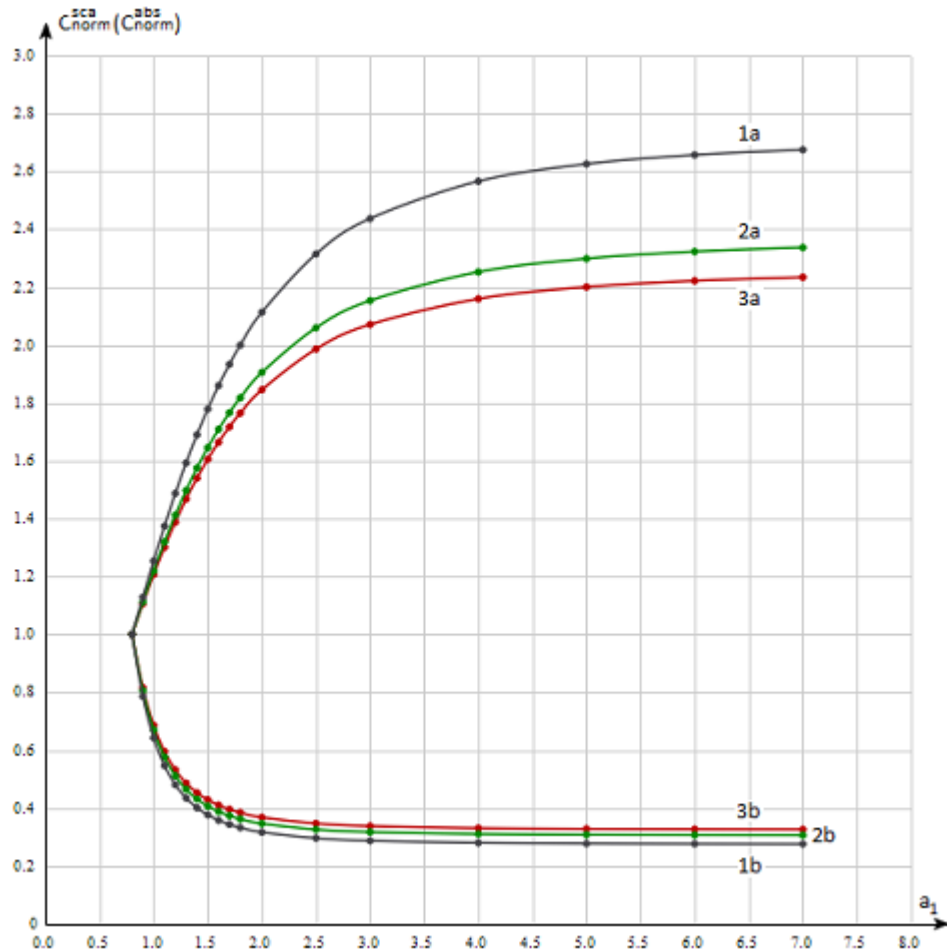


Рис. 1. Нормированные сечения рассеяния C_{norm}^{sca} и поглощения C_{norm}^{abs} света сфероидом в зависимости от величины большой его полуоси

Кривая 1а – случай однородного вытянутого сфероида объемом $\tilde{V}_1 = 0,512$ с показателем преломления $m_1 = 1,7 + 0,5i$ ($C_{norm}^{sca} = C_{norm}^{abs}$). Кривые 2а (C_{norm}^{abs}) и 3а (C_{norm}^{sca}) – случаи вытянутого сфероида с двумя оболочками. Объем внешней оболочки $\tilde{V}_1 = 0,512$, $m_1 = 1,3 + 0,1i$; ядро, подобное по форме внешней оболочке, имеет объем $\tilde{V}_2 = 0,279$ и $m_2 = 1,7 + 0,5i$. Кривые 1б, 2б и 3б то же, что и кривые 1а, 2а и 3а, но для сплюснутого сфероида.

Аналогичные результаты можно написать для горизонтальной ориентации внешнего поля и сплюснутого сфероида. Индекс j принимает значения 1 и 2 соответственно для внешней оболочки частицы и ее ядра. Отметим, что под диэлектрической проницаемостью понимается относительная величина по сравнению с внешней средой.

На рис. 1 представлены также зависимости нормированных сечений поглощения C_{norm}^{abs} и рассеяния C_{norm}^{sca} от величины большей полуоси двухслойного сфероида с подобным ядром. Выбраны комплексные показатели преломления $m_1 = 1,3 + 0,1i$ и $m_2 = 1,7 + 0,5i$, где первый соответствует загрязненному льду. Нормировка проводится на соответствующие сечения концентрического шара.

Первое, что следует отметить для двухслойных сфероидов в отличие от однородной частицы, это различие между нормированными сечениями поглощения и рассеяния. Во-вторых, по сравнению с концентрическим шаром сечения рассеяния и поглощения увеличиваются для вытянутых двухслойных сфероидов (кривые 2а–3а) с ростом отношения полуосей a/b примерно в 2,2 и 2,3 раза

соответственно, а для сплюснутых – уменьшаются в 3,1 и 3,3 раза (кривые 2b и 3b). Сравнивая с однородными частицами, видим, что поведение сечений для вытянутых двухслойных сфероидов в зависимости от формы частицы похоже, хотя разброс значений немного уменьшается, давая наибольшие величины порядка 6,8 и 7,6 соответственно.

Для оценки влияния внутренней структуры на оптические характеристики двухслойных сфероидов рассматривались частицы одного объема и одинаковой внешней формы ($a_1 = 1$, $b_1 = 1/\sqrt{2} \approx 0,707$). Напротив, ядро частицы сохраняло объем, но изменяло форму от максимально вытянутого сфероида до максимально сплюснутого. Выбор объема ядра порядка половины объема частицы ($V_2/V_1 \approx 0,558$) объясняется требованием его значительного влияния на оптические характеристики всей частицы. Результаты расчетов сведены в таблицу. Здесь $m_1 = 1,3 + 0,1i$; $m_2 = 1,7 + 0,5i$; $a_1 = 1$; $b_1 = 1/\sqrt{2} = 0,707$; $\bar{V}_1 = 0,500$, $\bar{V}_2 = 0,279$.

a_2	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,6534	0,60	0,5580
b_2	0,5282	0,5419	0,5568	0,5729	0,5906	0,6099	0,6313	0,6534	0,6819	0,7071
C^{sca}	3,3169	3,2900	3,2589	3,2239	3,1847	3,1413	3,0934	3,0445	2,9824	2,9288
C^{abs}	7,6229	7,5307	7,4228	7,3007	7,1651	7,0162	6,8540	6,6896	6,4872	6,3145
C_{norm}^{sca}	1,0895	1,0807	1,0704	1,0589	1,0461	1,0318	1,0161	1,0000	0,9796	0,9620
C_{norm}^{abs}	1,1395	1,1258	1,096	1,0914	1,0711	1,0488	1,0246	1,0000	0,9697	0,9439

Из таблицы видно, что сечения поглощения примерно в 2,3 раза больше сечений рассеяния. Они уменьшаются по мере изменения формы ядра от вытянутой к сплюснутой, однако величина этих изменений невелика – до 20% для поглощения и 13% для рассеяния. Дополнительно заметим, что различие сечений для двухслойных сфероидов с софокусным и подобным ядром составляет всего 2–3%.

Таким образом, влияние внутренней структуры двухслойных сфероидов на оптические характеристики частицы достаточно мало по сравнению с влиянием внешней формы частицы. Если в первом случае речь идет о 10–20%, то во втором различия между сечениями могут достигать 6–7 раз.

Библиографический список

1. Борен, К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хаффмен. М.: Мир, 1986. 660 с.
2. Фарафонов, В. Г. Рассеяние света малыми многослойными несофокусными сфероидами с использованием подходящих сфероидальных базисов / В. Г. Фарафонов, В. И. Устимов, В. Б. Ильин // Оптика и спектроскопия. 2018. Т. 125. Вып. 6. С. 786–794.
3. Фарафонов, В. Г. Приближение Релея для многослойных несофокусных сфероидов / В. Г. Фарафонов, В. И. Устимов, В. Б. Ильин // Оптика и спектроскопия. 2019. Т. 126. Вып. 4. С. 450–457.

УДК 004.432

С. Н. Федосеева

студент кафедры прикладной математики

А. В. Клименко

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

PHP КАК ОДИН ИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ СОЗДАНИЯ САЙТА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА

В наше время технологии становятся более развитыми, общедоступными и понятными. Практически каждая организация считает необходимым иметь собственный веб-сайт. Важной частью проектирования сайта является выбор методов и технологий для создания веб-ресурса.

Современные сайты и веб-приложения содержат большое количество различной информации, которую невозможно предоставить пользователю в должном виде без программирования. Технология языков программирования в сайтостроении отвечает в основном за связь базы данных с конечным сайтом, удобный интерфейс редактирования для пользователя, создание сложных форм и множества различных движущихся фрагментов.

Неотъемлемой частью в области программирования для сети является язык PHP, который можно кратко назвать инструментом для разработки персональных веб-сайтов. Данный язык является одним из самых популярных в создании сайтов и веб-приложений и поддерживается практически всеми хостинг-провайдерами.

PHP необходим в области написания скриптов, работающих на стороне сервера. Он способен на решение тех же задач, что и обычные скрипты, имеет возможность обрабатывать данные из HTML-форм, динамически генерировать HTML-страницы. Другая область применения языка PHP – создание скриптов, которые выполняются в командной строке.

В данной работе в качестве примера использования PHP как одного из современных инструментов создания сайта представлен сайт интернет-магазина SportsFactory.

Практически все современные веб-сайты строятся на основе систем управления содержанием (CMS). Данный веб-сайт не является исключением. В его основе лежит популярная система управления контентом – WordPress. WordPress имеет не так много встроенных функций, поэтому для расширения функциональности сайта существует множество плагинов, которые можно легко установить. Данные плагины написаны на языке программирования PHP. Следовательно, все запросы к системе управления также осуществляются при помощи PHP, поэтому можно сказать, что этот язык программирования является основой данного сайта и без него сайт не может полноценно функционировать.

Основными запросами для работы сайта являются технические запросы, которые прописываются в самом начале кода, так называемом теге <head>. К ним относятся метатеги, заголовки, ссылки и т. п.

В <head> данного сайта при помощи языка PHP прописан метатег:

```
<meta charset="<?php bloginfo( 'charset' ); ?>" />
```

, который отображает кодировку документа.

Открывающему тегу <html> нужен языковой атрибут, и WordPress предоставляет функцию для ввода корректного кода языка, который был выбран в процессе установки, для этого используется атрибут – language_attributes().

```
<title><?php wp_title( '|', true, 'right' ); ?></title>
```

 – данный запрос выводит заголовок страницы.

```
<?php bloginfo('pingback_url'); ?>
```

 – путь к файлу, который отвечает за оповещение авторов других сайтов, что вы на них ссылались. Не является обязательным.

```
<linkhref="<?= bloginfo('template_directory'); ?> /wp-content/themes/sport/style.css" rel="stylesheet" type="text/css" />
```

 – эта строка одна из основных, она подключает стили сайта, которые отвечают за внешний вид интернет-магазина.

```

header.php
<?php
/**
 * The Header for our theme.
 *
 * Displays all of the <head> section and everything up till <main id="main">
 *
 * @package Generate
 */
?><!DOCTYPE html>
<html <?php language_attributes(); ?>>
<head>
  <meta charset="<?php bloginfo( 'charset' ); ?>">
  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge" />
  <?php if ( ! function_exists( '_wp_render_title_tag' ) ) : ?>
    <title><?php wp_title( '|', true, 'right' ); ?></title>
  <?php endif; ?>
  <link rel="profile" href="http://gmpg.org/xfn/11">
  <link rel="pingback" href="<?php bloginfo( 'pingback_url' ); ?>">

```

Рис. 1. Фрагмент программного кода с применением PHP в файле header.php

Для удобства использования сайта пользователями, не имеющими познаний в программировании, в коде данного сайта используются следующие функции PHP:

```

<?php if ( is_active_sidebar('header') ) : ?>
  <div class="header-widget">
    <?php dynamic_sidebar( 'header' ); ?>
  </div>
<?php endif; // end sidebar widget area ?>

```

Это цикл вывода функции предназначен для вывода в административной панели сайта полей виджетов, ответственных за изменение информации на сайте, без изменения кода. Для удобства изменения информации на сайте в административной панели системы управления выводится специальное поле.

```

<?php if ( is_active_sidebar('header') ) : ?>
  <div class="header-widget">
    <?php dynamic_sidebar( 'header' ); ?>
  </div>
<?php endif; // end sidebar widget area ?>

```

Рис. 2. Фрагмент программного кода с применением PHP для вывода виджетов

```

<div id="all">
  <div id="header"><div>
    <div class="phone">
      <?php if(!function_exists('dynamic_sidebar') || !dynamic_sidebar('Виджет телефон')) {} ?>
    </div>
    <div class="logo">
      <a href="/">Sports Factory</a>
      <p>"Спорт- это гордость России!"</p>
    </div>
    <a href="#contact_form_pop" class="fancybox zakaz">Заказать</a>
    <div style="display:none" class="fancybox-hidden">
      <div id="contact_form_pop">

```

Рис. 3. Фрагмент программного кода с применением PHP-функции для вывода виджета

В данной функции «function_exists» – возвращает TRUE, если данная функция определена. То есть если функция 'dynamic_sidebar' существует, то она выводит значение 'Виджет телефон', которое является этим полем для заполнения.

Также основной частью является вывод контента страницы.


```

<?php if ( have_posts() ) : ?>

    <?php /* Start the Loop */ ?>
    <?php while ( have_posts() ) : the_post(); ?>

        <?php
            /* Include the Post-Format-specific template for the content.
            * If you want to override this in a child theme, then include a file
            * called content-____.php (where ____ is the Post Format name) and that will be used instead.
            */
            get_template_part( 'content', get_post_format() );
        ?>

    <?php endwhile; ?>

    <?php generate_content_nav( 'nav-below' ); ?>

<?php else : ?>

    <?php get_template_part( 'no-results', 'index' ); ?>

<?php endif; ?>

```

Рис. 4. Фрагмент программного кода с применением PHP запросов для вывода контента страницы

Это один из видов стандартного цикла вывода записей системы WordPress.

Цикл стартует здесь:

```
<?php if ( have_posts() ) : while ( have_posts() ) : the_post(); ?>
```

Если имеется пост или информация, соответствующие требованиям, тогда пост выводится.

Цикл используется в WordPress для отображения записей и контента страницы.

При выводе содержимого записей в шаблонах используется функция `get_template_part()` вместе с функцией `get_post_format()`, которая возвращает формат текущей записи в виде строки:

```
get_template_part( 'content', get_post_format() );
```

Данный подход позволяет разделить вывод разных форматов записей на разные файлы, например `content-gallery.php` для галерей, `content-quote.php` для цитат, `content-image.php` для изображений и т.д. Если тот или иной файл не существует, WordPress будет искать файл с названием `content.php`.

Основой для корректной работы интернет-магазина на данном сайте является плагин WooCommerce. Он автоматически создает нужные страницы: магазин, корзина, оформление заказа и мой аккаунт – и при помощи функции `do_shortcode()` выводит на необходимых страницах соответствующую информацию.

Поскольку весь плагин включает в себя большое количество функций и PHP-запросов, мы рассмотрим работу корзины интернет-магазина. Для корректной работы корзины в плагине используется несколько PHP-файлов. Рассмотрим основные из них.

```

<p class="cart-empty"><?php _e( 'Your cart is currently empty.', 'woocommerce' ) ?></p>
<?php do_action( 'woocommerce_cart_is_empty' ); ?>
<p class="return-to-shop"><a class="button wc-backward" href="<?php echo apply_filters( 'woocommerce_return_to_shop_redirect', get_permalink( wc_get_page_id( 'shop' ) ) ); ?>">
    <?php _e( 'Return To Shop', 'woocommerce' ) ?></a></p>

```

Рис. 5. Фрагмент программного кода с применением PHP

`Cart-empty.php` – отвечает за вывод записей, в случае если корзина пуста. В таком случае запрос: `<?php _e('Your cart is currently empty.', 'woocommerce') ?>` оповещает пользователя о том, что корзина пуста, и предлагает вернуться обратно в магазин: `<?php echo apply_filters('woocommerce_return_to_shop_redirect', get_permalink(wc_get_page_id('shop'))); ?>`

```
<?php _e( 'Return To Shop', 'woocommerce' ) ?>
```

Cart-item-data.php – это файл плагина, содержащий любые данные о товаре, который был добавлен в корзину. При выборе товара и добавлении его в корзину, автоматически присваиваются данные элементу корзины, и теперь эти данные будут доступны в \$cart_item массиве. Изначально проверяется, существует ли данный массив. Если нет, то данные возвращаются как обычно. В противном случае они добавляются в \$item_data массив, и каждому товару присваивается ключ (key) и определенное значение (value). Ключ используется в качестве заголовка данных (т.е. товара), вроде уникального кода, для распознавания.

```
<dl class="variation">
  <?php
    foreach ( $item_data as $data ) :
      $key = sanitize_text_field( $data['key'] );
    ?>
    <dt class="variation-<?php echo sanitize_html_class( $key ); ?>"><?php echo wp_kses_post( $data['key'] ); ?></dt>
    <dd class="variation-<?php echo sanitize_html_class( $key ); ?>"><?php echo wp_kses_post( wpautop( $data['value'] ) ); ?></dd>
  <?php endforeach; ?>
</dl>
```

Рис. 6. Фрагмент программного кода с применением PHP

Cart.php – содержит в себе файл самой страницы корзины. В нем используются те же способы вывода контента страницы, что описывались ранее.

Shipping-calculator.php – калькулятор доставки WooCommerce. При необходимости рассчитывает стоимость доставки.

PHP – это серверный скриптовый язык. Благодаря его гибкости с его помощью на сайте можно реализовать множество интерактивных функций: опросы, гостевые книги, интернет-магазин, всевозможные калькуляторы.

При создании сайта на PHP, в отличие от языка C++ (используется при написании ASP-страниц) или Perl, не нужно учитывать множество мелочей, таких как наличие в коде недопустимых символов или прав доступа к сценариям.

Использование PHP в написании сайта делает его более интерактивным и позволяет реализовывать необходимые функции без потери времени загрузки страницы и качества сайта в целом, что делает сайт более приятным для пользователей сети.

При создании сайта на PHP легко работать с базами данных – этот язык поддерживает множество различных операционных систем и СУБД.

Библиографический список

1. Николаева, Л. Э. Обзор средств создания сайтов // Состояние и перспективы развития IT-образования / Л. Э. Николаева, А. Н. Ванюлин. 2017. С. 98–105.
2. Чеховской, С. В. Разработка сайта на языке PHP / С. В. Чеховской, А. Н. Петрова // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов, материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет». 2017. С. 1167–1169.
3. Предеин, С. А. Использование языка PHP при создании динамических вебсайтов / С. А. Предеин // Подготовка педагогических кадров технологического профиля в условиях реиндустриализации региона. 2018. С. 236–238.
4. Еремина, М. Н. Основные преимущества PHP, определяющие его популярность // Решетневские чтения. 2015. № 14. С. 487–488.
5. Кремер, О. Б. Разработка веб-сайта на основе кроссплатформенной технологии PHP / О. Б. Кремер, С. Л. Подвальный, В. В. Журавлёва // Международная научная школа «Парадигма». 2015. № 8. С. 72–84.

УДК 004.4 234

В. Р. Ганиев

студент кафедры прикладной математики

А. В. Клименко

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ORM REDBEANPHP ПРИ РАБОТЕ С БАЗАМИ ДАННЫХ

Работа с базами данных играет важную роль при работе с различными проектами, в частности при создании сайтов. Для продуктивной работы с базами данных можно воспользоваться ORM.

ORM (Object-relationalmapping) – это прослойка между базой данных и кодом, который пишет программист, способ задания связи объектов и реляционной системы управления базами данных. ORM позволяет созданные объекты складывать в базу данных или получать их из базы данных.

ORM должен избавить программиста от написания SQL-запросов и в идеале вообще абстрагировать от базы данных (от способа хранения данных), чтобы работать с классами, в той или иной степени выражающими объекты.

Каждый объект записи в RedBeanPHP называется бином, это самый обычный объект, свойства которого представляют записи в таблицах. 1 запись – 1 бин (от английского слова bean – боб). Его свойства – это поля записи. Работать с бином можно как с обычным массивом.

Преимущество ReadbeanPHP – его простота. При использовании ORM выполнение необходимых действий с базами данных происходит намного легче, количество кода сокращается.

RedBeanPHP имеет хорошую оптимизацию: он подключается к базе данных только тогда, когда это необходимо. Используется драйвер PDO (PHP Data Objects), с помощью которого можно обезопасить проект от SQL-инъекций.

RedBeanPHP стремится поддерживать все бесплатные базы данных с открытым исходным кодом. В настоящее время RedBeanPHP поддерживает такие системы управления базами данных, как MySQL, MariaDB, SQLite, PostgreSQL, CUBRID и Firebird / Interbase. RedBeanPHP поддерживает PHP версии 5.2, 5.3.0-5.3.2, 5.3.3, 5.4, 5.5, 5.6, 7.0, 7.1, 7.2

Теперь рассмотрим несколько примеров использования RedBeanPHP. Для подключения ORM требуется скачать файл (rb.php) с ORM с сайта и поместить его в папку libs в корневом каталоге сайта. Далее, чтобы подключить ReadBeanPHP, нужно ввести строку

```
require "libs/rb.php";
```

После этого ReadBeanPHP установлен и готов к использованию.

Для добавления нового объекта в таблицу используется метод dispense, который принимает только один аргумент – название таблицы. Эту таблицу можно создать как вручную, так и автоматически, если такой таблицы нет в базе данных.

```
$user = R::dispense('users');
$user->login = $data['login'];
$user->email = $data['email'];
$user->name = $data['name'];
$user->adres = $data['adres'];
$user->password = password_hash($data['password'], PASSWORD_DEFAULT);
R::store($user);
```

В итоге будет создана таблица users (если ее не было) и в эту таблицу будет добавлена запись о пользователе. Будут созданы заданные колонки и колонка с ID, даже тип данных будет выбран грамотно, что также упростит работу.

При необходимости можно выключить автоматическое создание таблиц и полей для таблиц. Для этого требуется включить так называемую заморозку:

```
R::freeze( if:true );
```

Можно использовать автоматическое создание таблиц и полей при разработке, а перед тем как выложить готовый продукт, автоматическое создание можно отключить, чтобы повысить производительность, убрав таким образом лишние запросы к базе данных.

Защита от SQL-инъекций – это техника подготовленных запросов, если в проекте запрос дополняется данными, которые были введены пользователем, например, удаление объекта по id, которое вводит пользователь.

```
$id = $_POST['id'];
```

```
R::exec(sql:'DELETE FROM 'book' WHERE 'id' = ' . $id);
```

В данном случае пользователь может закрыть запрос и написать код, который может повредить проекту. Например:

```
$id = $_POST['id'];//; TRUNCATE 'book';
```

Чтобы этого не происходило, запрос должен быть составлен следующим образом: первым аргументом используется знак «неизвестно», а вторым передается массив с данными, которые будут вставлены вместо неизвестных знаков.

```
R::exec(sql:'DELETE FROM 'book' WHERE 'id' = ?, array($id));
```

RedBeanPHP может значительно упростить работу с базами данных, позволив программисту меньше работать с данными и больше сосредоточиться на коде.

Библиографический список

1. RedBeanPHP. URL:<https://redbeanphp.com/index.php> (дата обращения: 24.04.2019).
2. Пишем на SQL без SQL: основы по RedBeanPHP. URL: <https://obninskite.ru/blog/php-scripts/lesson-redbeanphp> (дата обращения: 24.04.2019).

УДК 519.612.4

А. Д. Ельцова

студент кафедры компьютерных технологий и программной инженерии

Л. А. Решетов

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

К РАСЧЕТУ СМЕЩЕНИЯ БАЙЕСОВСКИХ ОЦЕНОК КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ

В большинстве регрессионных схем используется линейная модель $\mathbf{Ax} = \mathbf{y}$, где матрица \mathbf{A} имеет размерность $m \times n$ и $m \geq n$, \mathbf{x} – вектор неизвестных коэффициентов регрессии и вектор \mathbf{y} содержит набор исходных данных. Предполагается, что система является совместной, то есть вектор правой части содержится в подпространстве столбцов матрицы \mathbf{A} . Если же правая часть уравнения возмущена $\mathbf{y} = \mathbf{Ax} + \boldsymbol{\epsilon}$, где $\boldsymbol{\epsilon}$ – случайный вектор с нулевым математическим ожиданием $M(\boldsymbol{\epsilon}) = \mathbf{0}$ и ковариационной матрицей $\mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}} = M(\boldsymbol{\epsilon}\boldsymbol{\epsilon}^T)$, то для матрицы \mathbf{A} полного столбцового ранга ($\text{RankA} = n$) существует оценка вектора \mathbf{x} по методу наименьших квадратов (МНК):

$$\mathbf{x}_{\text{МНК}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{y}.$$

Эта же оценка при гауссовской модели шумов является оценкой максимального правдоподобия [1]. Оценка $\mathbf{x}_{\text{МНК}}$ будет несмещенной при любом значении вектора \mathbf{x} , и ее ковариационная матрица определяется формулой

$$\mathbf{K}_{\text{МНК}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{A})^{-1}.$$

Если мы располагаем дополнительной априорной информацией о вероятностных свойствах параметра \mathbf{x} , то можем построить байесовские оценки параметра и тем самым уменьшить норму ковариационной матрицы оценки по отношению к норме $\mathbf{K}_{\text{МНК}}$. Полагая, что оцениваемый параметр (коэффициенты регрессии) является случайным вектором с гауссовским распределением, байесовские оценки можно найти путем минимизации суммы двух квадратичных форм:

$$J = (\mathbf{y} - \mathbf{Ax})^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{Ax}) + (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{K}_x^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0).$$

Из необходимого условия локального минимума $\partial J / \partial \mathbf{x} = \mathbf{0}$ [2] мы получаем байесовскую оценку параметра:

$$\mathbf{x}_{\text{б0}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{A} + \mathbf{K}_x^{-1})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{y} + \mathbf{K}_x^{-1} \mathbf{x}_0).$$

Ковариационная матрица оценки $\mathbf{x}_{\text{б0}}$:

$$\mathbf{K}_{\text{б0}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{A} + \mathbf{K}_x^{-1})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{A} (\mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{A} + \mathbf{K}_x^{-1})^{-1}.$$

Дополнительное слагаемое в скобках \mathbf{K}_x^{-1} уменьшает норму ковариационной матрицы $\mathbf{K}_{\text{б0}}$, и норма ковариационной матрицы байесовской оценки будет меньше нормы ковариационной матрицы оценки максимального правдоподобия. Это основное достоинство байесовских оценок. Байесовская оценка является несмещенной оценкой, но только в асимптотике, то есть после наблюдения бесконечного числа реализаций вектора \mathbf{y} . Но, если оценка выполняется по ограниченному числу реализаций, где случайный вектор \mathbf{x} принимает единственное значение, байесовская оценка почти всегда смещенная. Действительно, условное математическое ожидание оценки, полученное путем осреднения только по одному вероятностному распределению аддитивной помехи, можно записать в следующем виде:

$$M(\mathbf{x}_{\text{б0}}) = (\mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{A} + \mathbf{K}_x^{-1})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{Ax} + \mathbf{K}_x^{-1} \mathbf{x}_0).$$

Ясно, что при $\mathbf{x} \neq \mathbf{x}_0$ мы получаем $M(\mathbf{x}_{\text{б0}}) \neq \mathbf{x}$. Попытаемся далее вычислить смещение оценки $M(\mathbf{x}_{\text{б0}}) - \mathbf{x}$ и определим диапазон допустимых значений смещения, приняв дополнительные упрощающие предположения. Положим, что $\mathbf{K}_{\boldsymbol{\epsilon}} = D_{\boldsymbol{\epsilon}} \mathbf{I}$, $\mathbf{K}_x = D_x \mathbf{I}$, а столбцами матрицы \mathbf{A} пусть будут ортонормированные векторы $\mathbf{A}^T \mathbf{A} = \mathbf{I}$. Тогда условное математическое ожидание вектора $\mathbf{x}_{\text{б0}}$ будет определено формулой

$$M(\mathbf{x}_{\text{б0}}) = (D_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} + D_x^{-1})^{-1} (D_{\boldsymbol{\epsilon}}^{-1} \mathbf{x} + D_x^{-1} \mathbf{x}_0).$$

Смещение оценки $\boldsymbol{\Delta} = M(\mathbf{x}_{\text{б0}}) - \mathbf{x}$ является при этом случайным вектором

$$\boldsymbol{\Delta} = D_{\boldsymbol{\epsilon}} (D_{\boldsymbol{\epsilon}} + D_x)^{-1} (\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}).$$

Найдем квадрат нормы этого вектора:

$$\|\boldsymbol{\Delta}\|^2 = D_{\boldsymbol{\epsilon}}^2 (D_{\boldsymbol{\epsilon}} + D_x)^{-2} (\|\mathbf{x}_0\|^2 - 2\|\mathbf{x}_0\| \|\mathbf{x}\| \cos\varphi + \|\mathbf{x}\|^2).$$

где φ – угол между векторами \mathbf{x}_0 и \mathbf{x} . В некоторых задачах регрессии норма случайного вектора \mathbf{x} имеет фиксированную величину. В этом случае единственной случайной величиной остается угол φ , и мы можем оговорить его допустимую величину. Положим для определенности, что норма вектора \mathbf{x} равна норме вектора \mathbf{x}_0 . Отсюда следует, что

$$\|\Delta\|^2 = D_\epsilon^2(D_\epsilon + D_x)^{-2} 2\|\mathbf{x}_0\|^2(1 - \cos\varphi).$$

Мы получим квадрат относительного смещения оценки $\delta^2 = \|\Delta\|^2 / \|\mathbf{x}_0\|^2$ при малых угловых отклонениях, если используем первое приближение при разложении в ряд $\cos\varphi$:

$$\delta^2 = D_\epsilon^2(D_\epsilon + D_x)^{-2}\varphi^2.$$

Откуда в конечном итоге находим модуль допустимого угла отклонения φ_d при заданной величине относительного смещения δ :

$$|\varphi_d| = |\delta| (1 + D_x D_\epsilon^{-1}).$$

Для больших значений уровня шума ($D_\epsilon \gg D_x$) справедливо равенство $|\varphi_d| = |\delta|$, так как в этом случае смещение полностью определяется качеством априорных данных. Если же дисперсия шума мала ($D_x \gg D_\epsilon$), то ограничения на величину смещения отсутствуют из-за преобразования байесовской оценки в оценку по методу наименьших квадратов.

Обобщая сказанное, хочется отметить что построение байесовских оценок, в отличие от построения оценок максимального правдоподобия, требует привлечения дополнительных априорных данных о вероятностных свойствах оцениваемых параметров. Подобные действия улучшают флуктуационные характеристики оценок, но приводят к появлению смещения, если выборочное значение параметра не совпадает с его априорным значением.

Определение допустимого смещения является важным этапом построения байесовской процедуры. Ограничиваясь случаем фиксированной нормы неизвестного параметра (вектора коэффициентов регрессии), в настоящей работе получена простая формула для расчета допустимой величины угла отклонения случайного вектора параметров от заданного априорно вектора.

Библиографический список

1. Альберт, А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание / А. Альберт. М.: Наука, 1977, 223.
2. Schott, J. R. Matrix Analysis for Statistics / J. R. Schott. N. Y.: John Wiley, 1997. P. 426.

УДК 519.853.3

А. А. Михалев, И. А. Кан

студенты кафедры электромеханики и робототехники

В. Н. Ассаул

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ

Модель транспортной задачи – одна из наиболее востребованных задач линейного программирования. Реальные экономические условия часто требуют видоизменения постановки задачи, чтобы учесть влияние важных факторов. Один из таких факторов – ограничение пропускных способностей транспортных сетей – часто возникает в реальных экономических обстоятельствах. Например, сезонное ограничение грузоподъемности на автомобильных трассах, ремонт покрытия трассы или другие причины. Аналогичные ограничения могут возникать и на сетях газопроводов, электросетях и т.д.

Учет этого фактора в классической транспортной задаче приводит к тому, что в клетках транспортной таблицы наряду с тарифом появляется новый параметр – максимальное количество груза, допустимое к перевозке по данному маршруту. Будем предполагать, что сумма этих ограничителей по каждой из m строк не менее мощности поставщика, а сумма по каждому из n столбцов не менее емкости потребителя. В противном случае такая задача не будет иметь решения.

Традиционно транспортная задача решается методом потенциалов, позволяющим находить базисное решение [1, 2]. В случае ограничения пропускных способностей оптимальный план чаще всего распределяется по более чем $m + n - 1$ клеткам, то есть не является базисным.

Трудности при решении такой задачи возникают не только из-за невозможности применения метода потенциалов, но и на этапе составления начального плана. В данной работе рассматривается алгоритм решения задачи, связанный с использованием метода запретов [2] и позволяющий за счет увеличения размерности свести задачу к классической транспортной задаче.

Рассмотрим конкретный пример и покажем работу данного алгоритма. Пусть транспортная задача задана табл. 1.

Таблица 1

	5	5	5
6	2	0	4
	3	3	3
2	0	4	5
	1	1	1
5	2	0	9
	3	3	3
2	4	0	0
	1	1	1

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

В первом столбце табл. 1 представлены мощности четырех поставщиков, а в первой строке – емкости трех потребителей. Цифры в верхнем углу ячеек означают тариф перевозок, а в левом нижнем углу – максимальную пропускную способность маршрута.

Поставки второму и третьему потребителю от первого поставщика не превышают $7 + 3 = 10$ единиц товара, поэтому в первой ячейке таблицы минимальное количество товара будет $17 - 10 = 7$ единиц. С другой стороны, проанализировав поставки первому потребителю, замечаем, что минимальная поставка от первого поставщика будет $16 - 9 = 7$ единиц. Тогда в первой ячейке таблицы должно стоять число, не меньшее $\min(7, 7) = 7$ единиц. Назовем это обязательной поставкой.

Найдем обязательные поставки для остальных ячеек транспортной таблицы и вычтем их из соответствующих мощностей, емкостей и ограничений перевозок. Кроме того, вычтем из тарифов каждого столбца минимальный тариф в данном столбце, а затем, если останутся строки с положительным минимальным тарифом, вычтем из тарифов этих строк их минимальные значения, что не изменит оптимального плана. Тогда в каждой строке и в каждом столбце транспортной задачи будет как минимум одна ячейка с нулевым тарифом. Рассматриваемая задача изменится следующим образом (табл. 2).

Таблица 2

	16	22	32
17	10 8 15	7 6 12	3 3 13
34	2 2 11	12 11 14	21 21 12
14	4 4 14	5 4 11	9 6 17
5	3 2 15	1 1 10	2 2 7

Рассмотрим первую строку транспортной табл. 2. Разделим первую строку на три с мощностью каждой из строк в 3 единицы товара. Поскольку у первого поставщика есть всего 6 единиц товара, введем фиктивного потребителя с емкостью 3 единицы товара и с нулевым тарифом.

Запретим поставки от каждого из вновь образованных поставщиков всем потребителям, кроме одного из реальных и фиктивного путем назначения дорогого тарифа M во все нежелательные клетки. Ту же процедуру можно применить и к остальным строкам транспортной таблицы. Тогда транспортная таблица будет выглядеть следующим образом (табл. 3).

Для лаконичности запретные клетки оставим без тарифа, подразумевая в них тариф M . В этой таблице уже нет ограничений на перевозки, и ее можно заполнить, построив базисный начальный план. Можно использовать, например, метод северо-западного угла [2] или любой другой метод. В этой же таблице указан оптимальный план, построенный методом потенциалов, и сами потенциалы в правом крайнем столбце и в левой нижней строке (см. табл. 4). Чтобы убедиться, что построенный план оказался оптимальным, достаточно проверить выполнение условия $u_i + v_j \leq c_{ij}$ для незаполненных «незапрещенных» клеток, каких осталось только шесть.

Теперь можно вернуться к исходной задаче, объединив разбитые строки, убрав фиктивных потребителей, восстановив обязательные поставки и поставив первоначальные тарифы (табл. 4).

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Таблица 3

	5	5	5	3	1	4	1	u_i
3	2 1			0 2				0
3		0 2		0 1				0
3			4 3	0				0
1	0 1				0			0
1		4			0 1			0
1			5 1		0			0
3	2 3					0		-2
3		0 2				0 1		1
3			9			0 3		1
1	4						0 1	1
1		0 1					0	0
1			0 1				0	-4
v_i	2	0	4	0	0	-1	0	

Таблица 4

	16	22	32
17	15 8 10	12 6 7	13 3 3
34	11 2 2	14 11 12	12 21 21
14	14 4 4	11 4 5	17 6 9
5	15 2 3	10 1 1	7 2 2

Как видно из табл. 4, все условия задачи выполнены, а суммарная стоимость перевозок равна 915 единицам. В табл. 4 заполнены все клетки, в шести из них перевозки равны пропускной способности, а оптимальность плана вытекает из рассмотренной ранее расширенной задачи.

Таким образом, неканоническая транспортная задача сводится к канонической путем построения расширенной задачи, допускающей использование метода потенциалов.

Заметим, что без ограничений пропускной способности суммарные затраты на транспортировку составили бы 794 единицы, что на 121 единицу меньше по сравнению с рассмотренной задачей.

Представляется важным создать программу поиска оптимального плана в условиях ограничения перевозок, что может позволить оперативно решать подобного рода задачи в условиях изменяющейся картины на дорожной сети. Кроме того, предоставляется возможность исследования параметров ограничений на доходность перевозок и в методическом плане более глубокого понимания структуры оптимального решения.

Библиографический список

1. *Фролькис, В. А.* Введение в теорию и методы оптимизации для экономистов / В. А. Фролькис. 2-е изд. СПб.: Питер, 2002.

2. *Комарницкая, О. И.* Симплекс-метод и теория двойственности: Текст лекций по математическому программированию / О. И. Комарницкая. Л.: ЛИЭИ, 1987.

УДК 524.74

О. Р. Столетняя

студент кафедры вычислительных систем и сетей

О. И. Лысенко

студент факультета СПО

Н. С. Малиновский

студент кафедры метрологического обеспечения инновационных технологий и промышленной безопасности

Г. Л. Плехоткина

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ АСТЕРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ

Астероид Апофис был обнаружен в 2004 г. в обсерватории штата Аризона (США). Серии астрономических наблюдений позволили определить предварительную орбиту астероида, которая находится внутри орбиты нашей планеты, а вычисления показали чрезвычайно высокую вероятность столкновения этого астероида с Землей в апреле 2029 г., она составила около 3% [1].

Однако в 2005 г. с помощью новых наблюдений, в том числе и радиолокационных, выяснилось, что столкновения не будет, хотя 13 апреля 2029 г. астероид пройдет в 36–38 тыс. км от Земли. Второе сближение произойдет в марте 2036 г., но, по последним данным, вероятность столкновения будет крайне низкой. Наиболее опасным считалось возможное соударение астероида с Землей в апреле 2068 г., но и эту информацию в дальнейшем опровергли.

Почему же тогда ученые продолжают внимательно следить за Апофисом, если он не представляет опасности? Потому что вероятность столкновения все же существует. Пусть она кажется мизерной, но на сегодняшний день наука не может учесть всех факторов, влияющих на изменение траектории движения астероида. Даже мельчайшая погрешность в расчетах может преобразоваться в огромное расстояние.

Одним из таких факторов является эффект, обнаруженный русским инженером И. Янковским: астероид при вращении поглощает энергию Солнца днем и часть ее излучает в виде тепла ночью. Это придает ему чрезвычайно слабое ускорение, способное «подвинуть» астероид с его орбиты. Учесть эффект Янковского в расчетах трудно.

Российские ученые из Санкт-Петербургского государственного университета выдвинули теорию, что вообще невозможно точно рассчитать, по какой именно траектории Апофис полетит после 2029 г., вследствие рассеяния траекторий при сближениях [2]. Поэтому сейчас вообще рано говорить о том, что нас ждет после 2029 г. Но каковы будут последствия, если катастрофа случится?

Астероид диаметром 390 м не погубит жизнь на Земле, но если он попадет в густонаселенную местность, то многочисленных жертв не избежать. Тритиловый эквивалент взрыва составит 1600–1800 Мт энергии, а на его месте образуется кратер диаметром в 5–6 км. Огромные разрушения ожидаются в радиусе 10 км от падения, существенные – в радиусе 50 км.

Норвежские ученые приблизительно определили последствия от падения астероида размером с Апофис в океан. Выяснилось: он поднимет волны высотой в несколько сотен метров. Прибрежные города будут просто смыты с лица Земли.

Но не только из-за цунами наиболее опасным окажется удар, нанесенный в океан вблизи берега. Падение вызовет ураганные ветры, поднимет в атмосферу миллиарды тонн воды. Взрыв выбросит их со скоростью 300 м/с примерно на 20 км. Распространяясь, массы воды сметут все на своем пути.

Ученые даже составили карту мест наиболее вероятного соударения Апофиса с Землей в 2036 г. Скорее всего, он столкнется с океаном [3]. А на суше под угрозой Сибирь, где 30 июня 1908 г. уже упал Тунгусский метеорит. Ударная волна от взрыва на высоте 7–10 км была зафиксирована 30 июня 1908 г. обсерваториями всего мира. Она повалила деревья на территории более 2200 км² и выбила оконные стекла в домах на расстоянии сотен километров. Мощность взрыва оценивается в

40 Мт в тротиловом эквиваленте, что соответствует энергии 2000 атомных бомб, сброшенных на Хиросиму в 1945 г., или энергии самой мощной водородной бомбы АН602.

Последнее столкновение с астероидом произошло совсем недавно: 15 февраля 2013 г. в атмосферу Земли попал астероид, названный «Челябинским метеоритом». По оценкам специалистов, возраст объекта превышает четыре миллиарда лет. Размер астероида составлял 19,8 м в поперечнике при массе 13 кт к тому моменту, когда он со скоростью 18 км/с вошел в плотные слои атмосферы и стал подвергаться разрушению на высоте 90 км. Мощность взрыва, произошедшего над Челябинской областью, составила, по оценкам NASA, от 470 до 570 кт, что в 20–30 раз превосходит мощность атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму.

Предполагается, что всего на Землю упало от 4 до 6 т метеорного вещества, что составляет около 0,05% начальной массы астероида. Из этого количества на данный момент собрано не более 1 т с учетом самого крупного фрагмента массой 654 кг, поднятого со дна озера Чебаркуль. В результате падения метеорита пострадали 1617 человек, 112 были госпитализированы. Значительная часть городских сооружений оказалась разрушена, стекла выбило в 7 тысячах зданий [4].

Астероиды и раньше сталкивались с нашей планетой, о чем говорят огромные древние кратеры, оставленные ими, например Аризонский кратер, который находится в 30 км к западу от города Уинслоу (США). Диаметр его 1219 м, глубина – 229 м. Появился он относительно недавно – всего около 50 тысяч лет назад. Ученые считают, что кратер образовался при падении 50-метрового метеорита, который имел массу 300 кт и летел со скоростью 15 км/с.

Но это ничто по сравнению с тем, какие беды и разрушения мог бы сейчас причинить астероид, равный по размеру тому небесному телу, которое стало причиной появления на Земле кратера Чиксулуб. Это древний ударный кратер диаметром примерно 180 км и глубиной в 17–20 км (имеется в виду начальная глубина). Находится он на полуострове Юкатан [5].

Ученые считают, что кратер образовался 65 миллионов лет назад, в конце мелового периода. Диаметр упавшего тогда на Землю астероида оценивается в 10 км. Энергия падения составила 100 Мт в тротиловом эквиваленте. Некоторые специалисты предполагают, что этот астероид стал одной из причин вымирания динозавров. Он без труда уничтожил бы все человечество.

Всего сейчас насчитывают около 170 кратеров ударного происхождения, образованных падением небесных тел.

На данный момент существуют различные способы изменения траектории движения астероидов, но ни один из них так и не был применен на практике. Один из этих способов – гравитационный маневр, способный отклонить опасный объект с первоначальной орбиты без непосредственного контакта с ним, только при помощи гравитационного воздействия для передачи необходимого импульса, рассчитанного не менее чем за несколько десятков лет [6].

Выстроить правильный прогноз на столь долгосрочный период практически невозможно, особенно если учесть, что существует значительная неопределенность в знании траектории и массы астероида и, следовательно, в оценке ожидаемого изменения вектора его скорости.

Библиографический список

1. V-kosmose: Астероид Апофис. URL: <https://v-kosmose.com/asteroidyi-i-kometryi/apofis> (дата обращения: 24.04.2019).
2. Соколов, Л. Л. Особенности движения астероида 99942 Апофис / *Астрономический вестник* / Л. Л. Соколов, А. А. Башаков, Н. П. Питьев. Т. 42. № 1. С. 20–29.
3. Visualization of Analysis of Threats from Asteroid Ocean Impacts. URL: <https://vimeo.com/184234517> (дата обращения: 24.04.2019).
4. РИА: Челябинский метеорит: что ученые узнали за год. URL: <https://ria.ru/20140214/994868497.html> (дата обращения: 24.04.2019).
5. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / Под ред. Б. М. Шустова, Л. В. Рыхловой. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 384 с.
6. Элементы: Гравитационный тягач спасет Землю от астероидов. URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/164966/Gravitatsionnyy_tyagach_spaaset_Zemlyu_ot_asteroidov (дата обращения: 24.04.2019).

УДК 524.7

П. А. Банিকেвич, Д. А. Якимова, М. Е. Усольцева

студенты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Г. Л. Плехоткина

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ГИПОТЕЗЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР

Черная дыра – область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть ее не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе кванты самого света. Граница этой области называется горизонтом событий.

По сравнению со звездными объектами черные дыры крошечные, потому что масса сжимается в очень малые объемы под действием непреодолимого гравитационного давления.

Различают четыре сценария образования черных дыр: два реалистичных (гравитационный коллапс (сжатие) достаточно массивной звезды [1]; коллапс центральной части галактики или протогалактического газа) и два гипотетических (формирование черных дыр сразу после Большого взрыва (первичные черные дыры) и возникновение в ядерных реакциях высоких энергий).

Первый сценарий. Достаточно большая звезда [2] образует черную дыру после того, как ее ядерный синтез прекращается, потому что все, что уже могло быть синтезировано, синтезировано. Когда давление, создаваемое синтезом, прекращается, вещество начинает проваливаться к собственному гравитационному центру, становясь все более плотным. В конце концов оно настолько уплотняется, что ничто не может преодолеть гравитационное воздействие на поверхность звезды: так рождается черная дыра.

Второй сценарий. Коллапс только центральной части галактики или самого протогалактического газа. Это одно из последних современных представлений ученых о природе черных дыр, которые помещают их в центр практически всех эллиптических и спиральных галактик. К примеру, в центре нашей галактики расположена черная дыра под названием Стрелец А.

Третий сценарий. Процесс формирования черных дыр начался сразу же после Большого взрыва как результат флуктуаций материи и(или) гравитационного поля. Это так называемые первичные черные дыры. Согласно модели Большого взрыва после так называемой планковской эпохи давление и температура во Вселенной были сверхвысокими. В этих условиях простые колебания плотности материи были достаточно значительными, чтобы способствовать возникновению черных дыр. Хотя большинство областей с высокой плотностью в связи с расширением Вселенной удалились друг от друга, первичные черные дыры, будучи стабильными, могли сохраниться до настоящего времени.

Четвертый сценарий. Предполагается, что в результате ядерных реакций могут возникать устойчивые микроскопические черные дыры, так называемые квантовые черные дыры. В последнее время [3] предложены эксперименты с целью обнаружения свидетельств появления черных дыр в ядерных реакциях. Однако для непосредственного синтеза черной дыры в ускорителе необходима недостижимая на сегодня энергия 10^{26} эВ. По-видимому, в реакциях сверхвысоких энергий могут возникать виртуальные промежуточные черные дыры. Эксперименты по протон-протонным столкновениям с полной энергией 7 ТэВ на Большом адронном коллайдере показали, что этой энергии недостаточно для образования микроскопических черных дыр. На основании этих данных делается вывод, что микроскопические черные дыры должны быть массивнее 3,5–4,5 ТэВ в зависимости от конкретной реализации.

Библиографический список

1. Черная дыра. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>(дата обращения: 24.04.2019).
2. 10 фактов о черных дырах, которые должен знать каждый. URL: <https://hi-news.ru/science/> (дата обращения: 24.04.2019).
3. Журнал «Все о Космосе». URL: <https://aboutspacejournal.net/вселенная/галактика/чёрные-дыры> (дата обращения: 24.04.2019).

УДК 1683

М. М. Азаренок, А. А. Яненко, А. Д. Юркова

студенты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Г. Л. Плехоткина

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

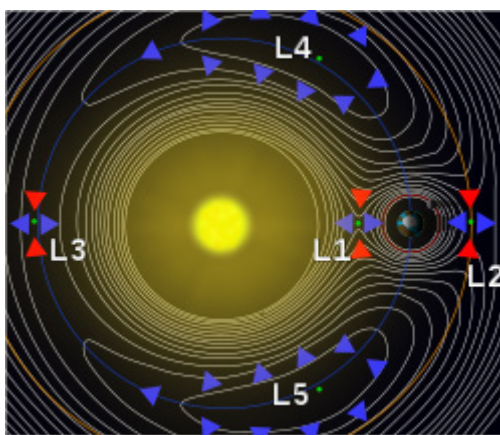
ПЕРВАЯ ПОСАДКА НА ОБРАТНУЮ СТОРОНУ ЛУНЫ

Как известно, Луна – естественный спутник Земли. Обратная сторона Луны – это часть лунной поверхности, которая не видна с Земли из-за того, что период вращения вокруг Земли (27 дней, 7 ч., 43 мин.) и период вращения вокруг своей оси (27 дней) у Луны практически совпадают. Из-за большого эксцентриситета [1] орбитальное движение Луны неравномерно: быстрее вблизи перигея и медленнее вблизи апогея, при том что собственное вращение Луны равномерное. Как следствие, возникает явление либрации по долготе, а так как ось вращения Луны не точно перпендикулярна плоскости ее орбиты, появляется либрация по широте. Совокупность этих явлений позволяет наблюдать с Земли приблизительно 59% лунной поверхности.

Впервые обратная сторона Луны была сфотографирована советской Автоматической межпланетной станцией «Луна-3» [2] 7 октября 1959 г. Новая миссия к обратной стороне Луны была предпринята Китаем. Ракета «Чанчжэн-3В/Е» с миссией «Чанъэ-4» стартовала с космодрома Сичан 8 декабря 2018 г. в 02:20 по местному времени (7 декабря в 21:20 по московскому времени).

Сложным испытанием для команды, занимавшейся подготовкой миссии «Чанъэ-4» [3], была задача по коммуникации с ровером и посадочным модулем. Для решения проблемы коммуникации на окололунную орбиту Китай отправил ретранслятор «Цюэцяо».

20 декабря 2018 г. к обратной стороне Луны был отправлен искусственный спутник-ретранслятор «Цюэцяо» с космодрома Сичан с помощью ракеты «Чанчжэн-4С». Ретранслятор вращается вокруг точки Лагранжа L2 (см. рисунок).



Точки Лагранжа

Спутник расположен на расстоянии 450 000 км от Земли и 65 000 км от Луны, поэтому «Цюэцяо» может передавать радиосигналы как с Земли, так и с обратной стороны Луны. Масса спутника составляет 425 кг, питается он от солнечных батарей. Для корректировки положения в пространстве он может использовать двигатели, которые работают на гидразине, имеет 4 канала в X-диапазоне для связи с посадочной станцией «Чанъэ-4» и канал S-диапазона для передачи данных на Землю.

«Чанъэ-4» – китайская автоматическая межпланетная станция для изучения Луны и космического пространства. Она состоит из стационарной лунной станции и лунохода. В нее встроены видеочамера, геологический радар для изучения лунного грунта, инфракрасный спектрометр для изучения минералов, прибор для изучения воздействия солнечного ветра на поверхность Луны.

Масса лунохода «Юйту-2» («Нефритовый заяц») составляет 140 кг, длина 1,5 м, ширина 1 м и высота 1,1 м. Он оснащен двумя складными панелями солнечных батарей и шестью колесами, антенной связи, четырьмя панорамными камерами, которые могут работать одновременно. На луноходе установлен также георадар, позволяющий зондировать слой реголита, и спектрометр, работающий в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Энергоснабжение оборудования станции осуществляется тепловыми блоками – радиационными источниками тепла и радиоизотопными источниками электроэнергии, использующими энергию альфа-распада изотопа Pu-238. Тепловые блоки разработаны в Российском федеральном ядерном центре ВНИИЭФ, корпуса тепловых блоков изготовлены из композиционных материалов специалистами АО «НИИ Графит».

Высадку аппаратов «Чанъэ-4» [4] было решено проводить в области кратера Карман диаметром 180 км, рядом с бассейном Южный полюс – Эйткен. Это место представляет собой самый старый и самый большой ударный кратер в Солнечной системе, оно имеет плоскую поверхность, подходящую для посадки. Успешная посадка в кратере Карман осуществлена 3 января 2019 г. в 08:55 по пекинскому времени (03:55 по московскому времени). После прилунения аппарат сделал первый в мире снимок поверхности обратной стороны Луны с близкого расстояния и передал его на Землю.

С 4 января по 10 января «Юйту-2» находился в режиме сна. Посадочный модуль «Чанъэ-4» в это время прошел низкотемпературные испытания. 10 января в 12:14 по московскому времени «Юйту-2» успешно вышел из ждущего режима и сделал первые фотографии. «Юйту-2» провел научно-исследовательскую работу в дневное время, которое продлилось до 12 января. Температура на поверхности Луны за это время опускалась до -190°C .

По положению на 4 марта Юйту-2 проехал 127 м по поверхности обратной стороны Луны и прислал снимки. Китай впервые в мире посадил аппарат на обратной стороне Луны, сфотографировал рельеф и решил проблему коммуникации ровера с Землей.

Библиографический список

1. Маров, М. Я. Космос от Солнечной системы вглубь Вселенной / М. Я. Маров. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. 539 с.
2. Википедия: «Луна-3». URL: <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Луна-3> (дата обращения: 16.03.2019).
3. Википедия: «Чанъэ-4». URL: <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Чанъэ-4> (дата обращения: 15.03.2019).
4. THE BELL: Китай первым в истории посадил зонд на обратной стороне Луны, подогрев космическую гонку с США. URL: <https://thebell.io/kitaj-pervym-v-istorii-posadil-zon> (дата обращения: 03.01.2019).

УДК 1683

Н. И. Гарматий, К. А. Савкина, М. И. Кулибаба

студенты кафедры электромеханики и робототехники

Г. Л. Плехоткина

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

МАГЕЛЛАНОВЫ ОБЛАКА

Космос является одной из самых больших загадок для всего человечества. Люди не устают исследовать его, а потому нам известно немало интересных фактов, которые поражают, а порой и пугают.

Млечный Путь, наша Галактика, содержит более 100 миллиардов звезд, межзвездный газ и пыль, а так же спутники, которых на данный момент насчитали 14. Магеллановы Облака, которые можно увидеть с южного полушария Земли, одни из них [1]. Свое название они получили в честь испанского мореплавателя Фернана Магеллана, погибшего во время первого кругосветного путешествия [2].

Большое и Малое Магеллановы Облака – неправильные карликовые галактики с заметно выделяющимся баром в центре, вращающиеся вокруг Млечного Пути. Они удалены на 200 000 и 160 000 световых лет от нашей Галактики, а между собой – на 75 000. Большое Магелланово Облако (БМО) и Малое Магелланово Облако (ММО) находятся в созвездиях Золотой Рыбы и Тукана соответственно. Сейчас известно, что БМО в 10 миллиардов раз массивнее Солнца и в нем ~ 30 миллиардов звезд. А ММО в 7 миллиардов раз массивнее Солнца и содержит ~ 1,5 миллиардов звезд [3].

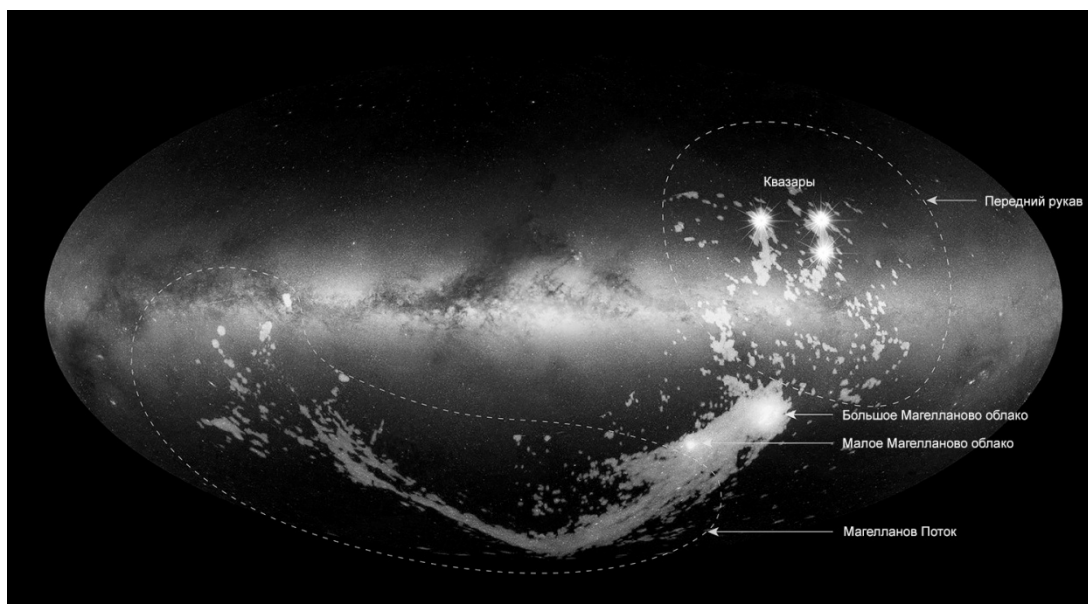
Магеллановы Облака являются областями звездообразования, то есть могут формировать новые звезды. Особенно явно это видно в БМО, где звезды формируются в огромных количествах [3]. Проследить это можно на яркой туманности Тарантул – огромной эмиссионной туманности, протяженность которой порядка тысячи световых лет, а общая масса газа в 5 миллионов раз превышает массу Солнца. Это самая большая туманность среди известных.

В центре Тарантула скрывается молодое звездное скопление R136 – рассеянное звездное скопление, в котором насчитывается 100 000 звезд с общей массой 450 000 солнечных. В нем скрывается голубой гипергигант, R136a1, масса которого в 290 раз превышает солнечную. Подобные сверхмассивные звезды исключительно редки и образуются только в очень плотных скоплениях. Благодаря своей гигантской светимости R136a1 составляет половину всего излучения своего звездного скопления [2].

В Большом Магеллановом Облаке есть еще множество удивительных объектов, но не менее интересные содержатся и в Малом. Например, рассеянное скопление NGC 290 выглядит настолько красиво и впечатляюще, что получило название «шкатулка с драгоценностями». Не менее удивителен белый пульсар SXP 1062. Эта вращающаяся нейтронная звезда имеет неожиданно очень малый период вращения – примерно 18 минут. Такая медленная скорость вращения является загадкой для ученых [4].

Магеллановы Облака делают один оборот вокруг нашей галактики примерно за $(1\div 2)$ миллиарда лет. От 200 до 500 миллионов лет назад ММО, возможно, столкнулось с БМО. Облака все еще связаны между собой гравитацией и погружены в общую водородную оболочку, называемую Магеллановой Системой [4].

Длинной газовой лентой, образующей Магелланов Поток (см. рисунок), наши спутники связаны и с Млечным Путем. Поток образовался 2 миллиарда лет назад, возможно, когда Магеллановы Облака, проходя сквозь гало Млечного Пути, «потеряли» часть своего газа, который продолжает оттягиваться притяжением нашей Галактики и сейчас. С другой стороны находится Передний рукав, также передающий газ Млечному Пути, что может привести к прекращению звездообразования в Магеллановых Облаках в течение 0,6–3 миллиардов лет. Расчеты показывают, что эти галактики могут столкнуться с нашей примерно через два миллиарда лет [4].



Комбинированный снимок Млечного Пути, Магелланового Потока и Переднего рукава

Благодаря астрономии у нас есть возможность исследовать очень далекие объекты, такие как Магеллановы Облака, получать новые данные, что вдохновляет ученых на очередные открытия и эксперименты.

Библиографический список

1. Сюняев, Р. А. Физика космоса. Маленькая энциклопедия / Р. А. Сюняев. М.: Советская энциклопедия, 1986. 784 с.
2. Ин-спейс: Последние новости астрономии, космоса и космонавтики. URL: <https://in-space.ru> (дата обращения: 05.03.2019).
3. V-kosmose: Магеллановы Облака. URL: <https://v-kosmose.com/galaktiki-vselennoi/magellanovy-oblaka> (дата обращения: 01.04.2019).
4. Оськина, В. Т. Астрономия. 11 класс: поурочные планы по учебнику Е. П. Левитана / В. Т. Оськина. Волгоград: Учитель, 2007. 166 с.

УДК 523. 41

А. А. Истомина, М. А. Зерский

студенты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. М. Ошуркова

студент кафедры высшей математики и механики

Г. Л. Плехоткина

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕТА К МЕРКУРИЮ

Меркурий – самая неизведанная планета земной группы. До Венеры и Марса добрались уже десятки аппаратов, а к Меркурию в октябре 2018 г. стартовала лишь третья миссия. Это связано с тем, что планета расположена очень близко к Солнцу, и с рядом других особенностей.

Во-первых, у Меркурия разреженная экзосфера, что обуславливает сильное воздействие на планету солнечного ветра и большой перепад температур на дневной (до +410 °С) и ночной (до –180 °С) сторонах, а из-за того что период вращения планеты вокруг своей оси почти совпадает с периодом обращения вокруг Солнца, она совершает всего 1,5 оборота за 1 меркурианский год или 88 земных суток [1].

Во-вторых, на орбиту Меркурия очень сложно выводить космический аппарат. Если отправить аппарат по прямой траектории, то существует вероятность, что он будет притянут Солнцем до того, как достигнет орбиты планеты. Таким образом, чтобы вывести любой аппарат на орбиту Меркурия, нужно использовать классическую схему перелета к любой планете (Гомановская траектория), которая состоит из двух маневров. Первый маневр – вывод аппарата на эллиптическую орбиту вокруг Солнца, которая пересекает орбиту планеты назначения в противоположной точке (от места старта относительно Солнца). Вторым маневром нужен, чтобы перейти на орбиту, близкую к орбите планеты. В случае полета к Меркурию оба этих маневра будут торможениями: сначала надо сбросить скорость, чтобы аппарат полетел «внутри» земной орбиты, потом он ускорится под действием силы притяжения от Солнца, и при подлете к Меркурию надо будет еще раз затормозить. Оба торможения будут порядка 5 км/с и потребуют очень много топлива – современные ракеты могут поднимать корабли, у которых топлива хватит лишь на один подобный маневр [1].

Существует и второй вариант – это гравитационные маневры. Траекторию движения рассчитал итальянский математик Джузеппе Коломбо. Гравитационное торможение происходит следующим образом: аппарат подлетает к планете, обгоняя ее, при этом он притягивается планетой, а ускорение от силы притяжения направлено против движения аппарата – и он тормозится [1].

За всю космическую эру к Меркурию было отправлено две миссии: «Маринер-10» (1973 г.) и «Мессенджер» (2004 г.). 20 октября 2018 г. с космодрома, расположенного во французской Гвиане, был запущен космический аппарат *VeriColombo*. Это третья миссия, которая должна значительно пополнить знания о планете. Продолжительность полета до Меркурия составит чуть более 7 лет. За это время блок аппаратов совершит девять гравитационных маневров: вокруг Земли, дважды вокруг Венеры и шесть раз вокруг Меркурия. Прибытие к Меркурию запланировано на декабрь 2025 г.

Основные цели миссии:

1. Изучить состав поверхности грунта Меркурия и окружающего его пространства.
2. Оценить геологическую историю развития планеты.
3. Проанализировать происхождение магнитного поля и исследовать его взаимодействие с солнечным ветром.
4. Картировать распространенность водородсодержащих соединений и водяного льда в полярных областях.

Миссия *VeriColombo* включает два космических аппарата, работающих на разных орбитах, и два вспомогательных элемента конструкции, объединенных в блок: перелетный модуль, меркуриан-

ский планетный орбитальный аппарат (МПО), солнцезащитный экран, меркурианский магнитосферный орбитальный аппарат (ММО).

Орбитальный зонд (МПО) для изучения поверхности и внутреннего строения планеты будет выведен на орбиту с малым эксцентриситетом для наблюдений в надир.

Магнитосферный зонд (ММО) – аппарат для исследования магнитного поля и магнитосферы Меркурия с высокоэллиптической полярной орбиты (400 × 12 000 км) [1].

Большой вклад в миссию внесли российские ученые. Рассмотрим приборы в составе миссии, созданные с их участием:

1. Меркурианский гамма-нейтронный спектрометр МГНС (аппарат – МПО).

Цели эксперимента: изучение элементного состава вещества поверхности Меркурия посредством регистрации вторичных нейтронов и гамма-квантов от планеты и изучение полярных районов Меркурия, сопоставление их с полярными районами Луны. Это позволит уточнить представления об образовании и эволюции планеты [2].

2. Ультрафиолетовый спектрометр PHEBUS (аппарат – МПО).

Цель эксперимента: спектральный анализ экзосферы планеты в диапазоне вакуумного ультрафиолета, что позволит уточнить ее химический состав и динамику [3].

3. Камера наблюдения в спектре натрия MSASI (аппарат – ММО).

Цель эксперимента: определение причин появления натрия в экзосфере Меркурия [4].

4. Панорамный энерго-масс-спектрометр положительно заряженных ионов PICAM (аппарат – ММО).

Цели эксперимента: определить химический состав грунта; понять, существует ли у Меркурия ионосфера, и прояснить структуру магнитосферы и особенности взаимодействия с ней солнечного ветра [5].

Если все пойдет так, как планируется, аппарат BepiColombo выйдет на околомеркурианскую орбиту 5 декабря 2025 г., а 14 марта 2026 г. МПО выйдет на окончательную орбиту. Ожидаемый срок работы аппаратов на орбите вокруг Меркурия – 1 земной или 4 меркурианских года с возможностью продления на такой же срок.

Библиографический список

1. Элементы: BepiColombo: третья миссия к Меркурию успешно стартовала. URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/433351/BepiColombo_tretya_missiya_k_Merkuriyu_ushpeshno_startovala (дата обращения: 24.04.2019).

2. ИКИ РАН: Отдел ядерной планетологии: Меркурианский гамма и нейтронный спектрометр МГНС для проекта ЕКА «БепиКоломбо». URL: <https://np.cosmos.ru/index.php/pribery/mgns> (дата обращения: 24.04.2019).

3. ИКИ РАН: Отдел физики планет и малых тел солнечной системы: Ультрафиолетовый спектрометр PHEBUS. URL: <http://www.planetary-department-iki.ru/projects/future/bepi-colombo/phebus.html> (дата обращения: 24.04.2019).

4. ИКИ РАН: Отдел физики планет и малых тел солнечной системы: Камера наблюдения в лучах натрия MSASI. URL: <http://www.planetary-department-iki.ru/projects/future/bepi-colombo/msasi.html> (дата обращения: 24.04.2019).

5. ИКИ РАН: «БепиКоломбо» / BepiColombo. URL: http://iki.cosmos.ru/bepi_colombo2.htm (дата обращения: 24.04.2019).

УДК 524.7

П. А. Банিকেвич, А. А. Тумаев, М. Е. Усольцева

студенты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Г. Л. Плехоткина

кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

ТУМАННОСТЬ ОРИОНА

Туманность Ориона (M42) [1] – одна из самых красивых и ярких туманностей на ночном небе Северного полушария (открыта в 1610 г.). Она представляет собой огромное облако ионизированного водорода и является частью гораздо большего комплекса молекулярных облаков в созвездии Ориона, которые включают в себя туманности M78 и Конская голова. Расстояние до них – 1344 световых года, поперечный размер – 33 световых года, угловой размер – 80 × 60 угловых минут, видимая звездная величина +4.0, общая площадь туманности 1.7 кв. градусов, самого же созвездия – 594 кв. градусов. Туманность Ориона хорошо видна чуть ниже так называемого пояса Ориона. Наилучшее время для наблюдений – с ноября по март.

Туманность Ориона [2] – диффузная туманность. На множестве ее снимков, сделанных в видимом диапазоне, видны красные области, образованные горячим газом, в основном водородом, сине-фиолетовая окраска представляет собой отраженное излучение от массивных звезд O-класса в центре туманности. Пылевые облака образуют красивые волокнистые структуры в результате процессов гравитационного сжатия газа и влияния звездных ветров. Эти ветры являются потоками частиц, выброшенных из атмосфер звезд: они достаточно мощные, чтобы изменить вид окружающих звездных облаков.

Частью туманности Ориона является также небольшая туманность M43. Она слегка отделена от M42 темной полосой пыли. Рядом с левым краем M42 видно межзвездное облако пыли, которое отражает свет от горячих молодых звезд. Оно состоит из трех регионов, известных как NGC 1977, NGC 1975 и NGC 1973.

Туманность Ориона – «колыбель» звезд. В настоящий момент в ней формируются около семисот звезд.

Туманность Пламя

Туманность Пламя (NGC 2024) [3] – эмиссионная туманность, отдаленная на 1350 световых лет от Солнца. Входит в состав масштабного региона рождения звезд Облако Ориона. В Облаке Ориона также находятся туманность Ориона (M42), Туманность де Мерана (M43), Конская голова, Петля Барнарда и M78.

Исследование туманности Пламя [4] показало, что звезды на окраинах туманности более старые по сравнению с центральными, что является опровержением теории о рождении звезд в туманностях, по которой все звезды сначала рождаются в центре будущей туманности, так как плотность вещества там больше, поэтому звезды в центре туманности должны быть старше тех, что на ее окраинах.

На первом этапе исследования данные, полученные от телескопа Чандра, использовались для определения яркости звезд, чтобы рассчитать их массы. Затем определяли яркость звезд в инфракрасном свете с помощью аппарата Спитцер, инфракрасного обзора 2MASS и инфракрасного телескопа на горе Мауна-Кеа. По полученным данным возраст звезд в центре туманности Пламя составляет приблизительно 200 000 лет, а возраст звезд на окраинах – приблизительно 1,5 миллиона лет.

В настоящее время есть несколько объяснений этому факту. Во-первых, звездообразование продолжается во внутренних регионах этих туманностей. Это возможно благодаря тому, что газ в центре туманности еще достаточно плотный. Когда плотность газа перейдет за пороговое значение, рождение новых звезд может прекратиться. Во-вторых, считается, что у старых звезд было достаточно времени для дрейфа на дальние рубежи туманности. Это могло произойти само по себе или в

результате взаимодействия с другими звездами. По третьей версии молодые звезды могли рождаться в массивных нитях газа, которые текут в направлении центра туманностей.

Туманность Конская голова

Туманность Конская голова (IC 434, Barnard 33) – темная туманность в созвездии Ориона. Туманность имеет приблизительно 3,5 световых года в диаметре и расположена южнее звезды Альнитак (ζ Ориона), восточной звезды Пояса Ориона, и является частью Облака Ориона – огромной газопылевой области звездообразования. Находится на расстоянии около 1300 [5] световых лет от Солнца. Впервые туманность была обнаружена в 1888 г. на фотографиях Гарвардской обсерватории [6].

Конская голова – одна из наиболее известных туманностей. Она выглядит как темное пятно в форме конской головы на фоне красного свечения. Это свечение объясняется ионизацией водородных облаков, находящихся за туманностью, под действием излучения от ближайшей яркой звезды (ζ Ориона). Темный фон туманности возникает в основном за счет поглощения света плотным слоем пыли, хотя есть участки, на которые падает тень от основания «шеи» Конской головы. Яркие пятна в основании туманности – это молодые звезды, находящиеся в процессе формирования.

В ноябре 2012 г. [7] при помощи 30-метрового радиотелескопа Института радиоастрономии в миллиметровом диапазоне, располагающегося в испанской Сьерра-Неваде, в «гриве» Конской головы были открыты углеводороды, из которых состоят нефть и природный газ [8]. Высокий уровень углеводородов оказался особенно неожиданным. Ионы C_3H^+ были впервые замечены в межзвездном пространстве этого района. Всего выявлены молекулы 30 различных органических веществ.

Исследователи предположили [9], что эти углеводороды образуются в результате разрушения ультрафиолетом сложных молекул полиароматических углеводородов, которые уничтожаются излучением в условиях, когда содержащие их газовые облака граничат с массивными и яркими молодыми звездами.

Библиографический список

1. M42 «Туманность Ориона». URL: <http://www.star-hunter.ru/m42> (дата обращения: 24.04.2019).
2. Самая знаменитая туманность в созвездии Ориона. URL: <https://www.liveinternet.ru/users/5340785/post325334240> (дата обращения: 24.04.2019).
3. Туманность Пламя меняет представления о рождении звезд в скоплениях. URL: <https://www.theuniversetimes.ru/tumannost-plamya-menyat-predstavleniya-o-rozhdanii-zvezd-v-skopleniyah.html> (дата обращения: 24.04.2019).
4. Космическая туманность. URL: <http://lesoproduct12.ru/oformlenie/kosmicheskaya-tumannost-na-vashej-podushke.html> (дата обращения: 24.04.2019).
5. An Infrared Census of Star Formation in the Horsehead Nebula. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-6256/137/3/3685/pdf> (дата обращения: 24.04.2019).
6. Конская голова (туманность). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Конская_Голова_\(туманность\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Конская_Голова_(туманность)) (дата обращения: 24.04.2019).
7. First Detection of the I-C₃H⁺ Hydrocarbon Cation. URL: <https://arxiv.org/pdf/1210.8178.pdf> (дата обращения: 24.04.2019).
8. Углеводороды нефти: компоненты, состав, структура. URL: <http://fb.ru/article/424538-uglevodorodyi-nefti-komponentyi-sostav-struktura> (дата обращения: 24.04.2019).
9. Cosmic refinery. URL: <https://www.mpg.de/research/horsehead-nebula> (дата обращения: 24.04.2019).

С. Г. Борисов, Е. А. Оберемок

студенты кафедры инноватики и интегрированных систем качества

А. В. Чабаненко

старший преподаватель – научный руководитель

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ ПРЕФОРМ 3D-ПЕЧАТИ

Главными аспектами индустриального развития четвертого поколения являются новые технологические решения, на базе которых осуществляется цифровая трансформация глобальных отраслей как в российской, так и в мировой промышленности. Современные методы цифровизации позволяют достигать новых результатов качества и конкурентоспособности не только в рамках производственных процессов, но и в общих аспектах повышения операционной эффективности предприятий.

Исследование, проведенное PWC с участием производителей, показало, что 71% опрошенных использует 3D-печать в той или иной степени (по сравнению с 66% в прошлом году). Также было обнаружено, что 20% производителей применяют 3D-принтеры для производства готовых деталей по сравнению с 10% в предыдущем году [1].

Согласно данным Fast Radius, производители не только освоили технологию, но и добились положительных результатов, в связи с чем планируют увеличить расходы на 3D-печать в течение ближайшего года. Это касается более 50% опрошенных, при этом 33% отметили, что увеличат соответствующие статьи бюджета более чем на 50% по сравнению с предыдущим годом.

Производители, внедрившие 3D-печать, будут использовать ее в самых разных целях, начиная с простых экспериментов и заканчивая прототипированием и печатью функциональных узлов. Согласно исследованию Fast Radius, производители в основном применяют трехмерную печать для прототипирования (77%), а печать функциональных узлов немного не дотягивает до этой цифры (60%) [2].

Объем мирового рынка 3D-печати будет расти в среднем на 22,3% и к 2020 г. достигнет 28,9 млрд долл., говорится в исследовании аналитиков. Что касается географической структуры, то мировой рынок 3D-принтеров сегментирован следующим образом: США (38%), Япония (18%) и Германия (9%). Разработки в этой области ведутся и в Российской Федерации – вполне вероятно, что пьедестал почета может существенно измениться уже в ближайшие 5 лет.

При печати пластик разогревается до температуры плавления и выдавливается через сопло печатающей головки. При этом головка буквально разглаживает верхний слой по модели. Если размеры этого слоя маленькие по сравнению с размерами самой головки, то головка постоянно находится над распечатываемой поверхностью. Это приводит к тому, что уже уложенный пластик начинает плавиться и портить модель. Для решения этой проблемы используется охлаждение.

Самый простой способ организовать охлаждение – программный. Он не требует абсолютно никаких изменений в принтере. Идея состоит в том, чтобы при распечатке слоев с маленькими размерами на время отводить печатающую головку в сторону, чтобы дать модели остыть [3].

К сожалению, программного охлаждения часто бывает недостаточно. Один из вариантов – подключение вентилятора к электронике для управления силой обдува и организация воздуховода для формирования нужного направления потока.

При выборе или самостоятельном проектировании воздуховода необходимо узнать о некоторых нюансах. Во-первых, если вентилятор будет дуть прямо на нагреватель печатающей головки, то это может привести к тому, что нагреватель перестанет справляться с нагревом пластика и в самый ответственный момент температура может стать недостаточно высокой для печати. Поэтому при выборе готового или изготовлении собственного воздуховода старайтесь избежать сильного прямого обдува нагревателя и сопла. Утепление нагревателя при помощи стеклоткани или силиконового поролона и каптонового скотча поможет решить эту проблему.

Во-вторых, если вентилятор будет сильно дуть на разогретый стол 3D-принтера, то это может привести к тому, что модель будет плохо прилипать и(или) отрываться в процессе печати. Для решения этой проблемы следует отключить охлаждение при печати нескольких первых слоев модели, а также с умом выбирать вентилятор. «Больше» в этом случае не означает «лучше». Если у модели небольшое основание, можно улучшить ее прилипание за счет генерации краев (модуль skirt в skeinforge и параметр brim в slic3r).

В-третьих, аэродинамика сложна в расчетах. Иногда визуально идеальные и логичные модели воздуховодов не работают на практике, поэтому перед установкой на принтер необходимо удостовериться, что поток воздуха идет так, как запланировано. В идеальном варианте он должен хорошо обдувать пластик, выходящий из сопла, но не задевать само сопло.

Для разработки обдува необходимо знать габариты экструдера (рис. 1), тип крепления и размеры каретки. Для дальнейшей работы был выбран экструдер под названием Cyclops.

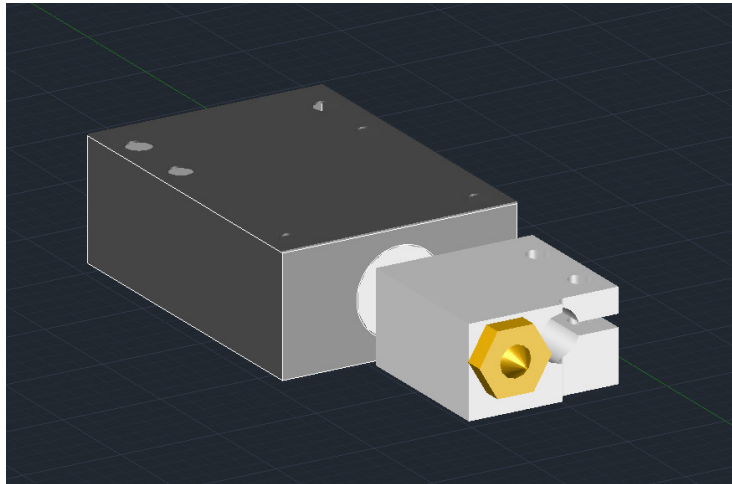


Рис. 1. Экструдер

Сняв полученные размеры, можно построить в AutoCAD модель, которая могла бы обдувать пластик с нескольких сторон (рис. 2).

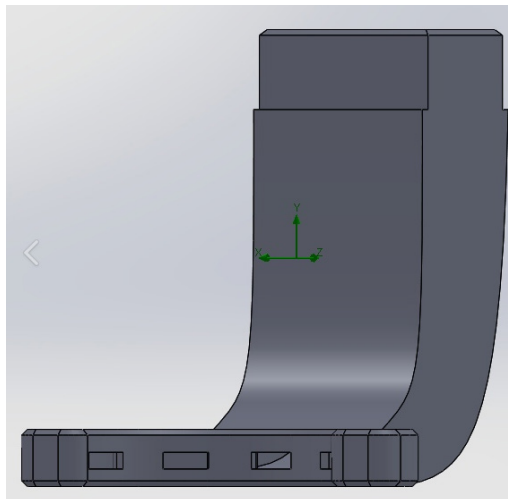


Рис. 2. Обдув печати

Далее проводим испытания в SOLIDWORKS Flow Simulation, полученные результаты можно увидеть на рис. 3.

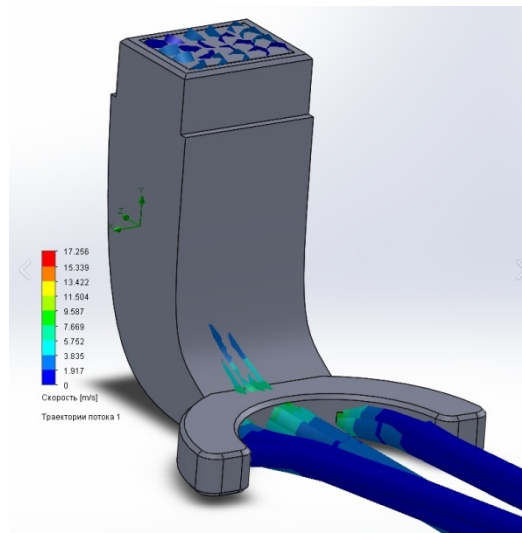


Рис. 3. Симуляция обдува

Для определения эффективности системы в дальнейшем будет использоваться программа SOLIDWORKS с дополнением Flow Simulation. На рис. 4 представлена симуляция процесса охлаждения пластика, его температура 450 градусов Кельвина, что соответствует 167 °С. Такая температура обусловлена тем, что пластик уже был выдавлен через сопло при температуре около 210 °С и остыл по естественным причинам.

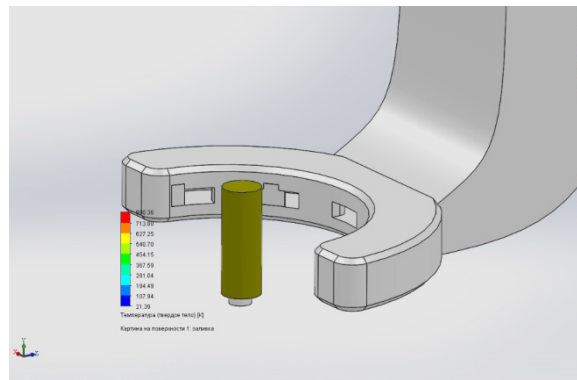


Рис. 4. Симуляция нагрева

На рис. 5 и 6 представлена симуляция с уже включенным обдувом. Как видно на графике, поток воздуха проходит около пластика, тем самым понижая его температуру, ее значение около 80 °С, что является переходной точкой в состояние стеклования, при которой пластик уже способен держать свою форму.

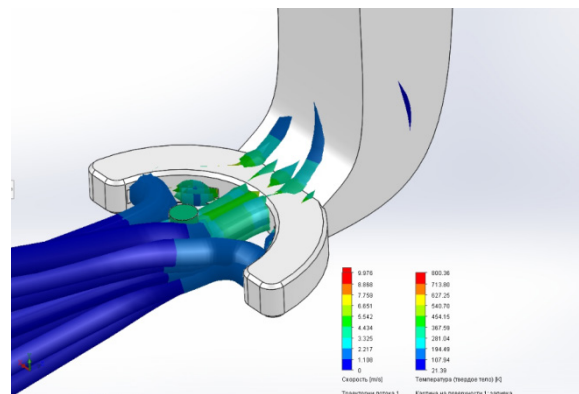


Рис. 5. Симуляция охлаждения

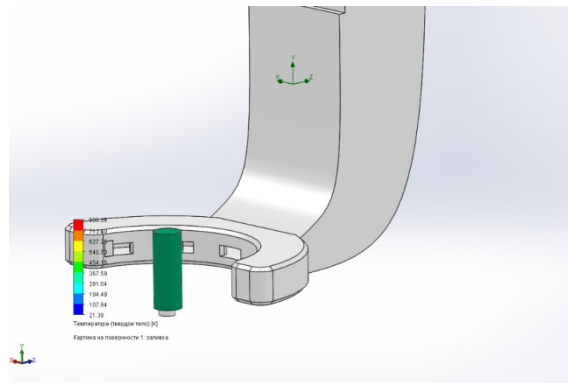


Рис. 6. Симуляция охлаждения без воздушных потоков

Исходя из результатов, представленных в работе, можно сделать вывод, что при подключении обдува можно сократить время печати, а также снизить количество брака.

Библиографический список

1. Индустрия 4.0. URL: pwc.ru (дата обращения: 30.03.2019).
2. Beyond Prototyping: Scaling Up to Additive Manufacturing for Production. URL: fastradius.com (дата обращения: 30.03.2019).
3. ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Ч. 1. Термины и определения.

УДК 628.316.13

Е. А. Вострикова

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

Е. Н. Киприянова

кандидат технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

В последние годы в России наблюдается рост промышленного производства, который, с одной стороны, приводит к оживлению гальванического производства, но, с другой стороны, сдерживается его высокой экологической опасностью.

Главными источниками поступления загрязняющих веществ в водоемы являются сточные воды промышленных производств и воды коммунально-бытового хозяйства.

Особое место среди загрязнителей занимают тяжелые металлы, которые в воде не подвержены распаду, разложению, деградации.

В большинстве случаев ионы тяжелых металлов в сточных водах – результат гальванических цехов предприятий машиностроения (промывание гальванических ванн, отработанные технологические растворы травления).

К предприятиям машиностроительного комплекса относят механические, машиностроительные, автомобильные, машинно-, тепловозо- и вагоноремонтные, подшипниковые, авторемонтные, электровозоремонтные заводы, заводы по производству электронного и оптического оборудования, радиозаводы и др. Также следует принимать во внимание автохозяйства, депо и проч. [1,2].

Сточные воды гальванических цехов загрязнены различными кислотами (при травлении, обезжиривании, декапировании, электрополировании, анодировании); щелочами и азотной кислотой (при осветлении); цианидами (при латунировании, кадмировании, цинковании, серебрении); медью, никелем, хромом, кадмием, цинком, серебром, оловом (при нанесении металлических покрытий, в зависимости от вида покрытия) и т. п. [3].

Уменьшению экологической опасности гальванического производства должны служить очистные сооружения предприятий.

Количественное содержание ионов тяжелых металлов незначительно в сравнении с привычным перечнем загрязняющих веществ в сточных водах, но влияние тяжелых металлов на окружающую среду и организм человека необратимо в своих последствиях.

Один из видов решения данной проблемы – переход к усовершенствованным системам очистки.

Очистка сточных вод – это удаление, обеззараживание и уничтожение загрязняющих веществ.

Существует несколько эффективных методов удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод:

- реагентные;
- биохимические;
- электрохимические;
- мембранные;
- сорбционные;
- комбинированные.

Все они имеют ряд достоинств и недостатков, отличаются эффективностью очистки, стоимостью оборудования и видом извлечения.

Для более точной очистки и снижения негативного воздействия на окружающую среду в качестве системы очистки в гальванических цехах целесообразно использовать систему оборотного водоснабжения.

На первой стадии процесса очистки производится усреднение сточных вод и гомогенизация их состава в накопительной емкости, затем в процессе микрофльтрации и ультрафльтрации удаляются органические вещества массой более 200 г/моль, после чего стоки под высоким давлением подаются на мембранную установку обратного осмоса многоступенчатого концентрирования. В результате мы получаем два потока: очищенную воду (90%), соответствующую ГОСТ 9.314-90 вода 3-й категории для гальванического производства, которая направляется на операции промывки в гальванический цех, и концентрат (10%), который направляется на электрохимическую доочистку (либо на выпарную установку по желанию заказчика).

В процессе электрохимической очистки концентрированного стока производится коррекция pH, необходимая для образования гидроксидов тяжелых металлов, и флотация взвеси данных гидроксидов и гидроксифосфатов в электрофлотаторе.

Образующийся шлам поступает на фильтр-пресс, где обезвоживается, после чего может быть сдан на утилизацию в региональную фирму, занимающуюся захоронением твердых отходов производства. Очищенная вода после электрофлотатора проходит под давлением через каскад фильтров тонкой очистки и сбрасывается в городскую систему канализации [4].

Переход к данной системе водоснабжения обеспечит минимизацию поступления ионов тяжелых металлов в водные объекты, позволит рационально использовать воду, идущую на промывку гальванических ванн, а также поспособствует сохранению ценных компонентов, которые ранее безвозвратно терялись в сбрасываемых сточных водах.

Библиографический список

1. *Майстренко, В. М.* Эколого-аналитический мониторинг супертоксиантов / В. М. Майстренко, Р. З. Хамитов, Г. К. Будников. М.: Химия, 1996. 319 с.
2. *Виноградов, С. С.* Экологически безопасное гальваническое производство / С. С. Виноградов; под ред. проф. В. Н. Кудрявцева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Глобус, 2002. С. 135–148.
3. ИТС 8-2015. Очистка сточных вод крупных предприятий. М.: Бюро НТД, 2015. 113 с.
4. Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева. Технопарк. Очистка сточных вод гальванических производств. URL: <http://enviropark.ru/course/category.php?id=5> (дата обращения: 24.04.2019).

УДК 374.31

А. И. Верховская

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

С. А. Назаревич

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ТРИЗ-ПЕДАГОГИКИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС НАЧИНАЯ С РАННИХ СТАДИЙ ОБРАЗОВАНИЯ

С каждым годом возрастает число педагогов, интересующихся теорией решения изобретательских задач (ТРИЗ) и использующих технологии на ее основе в своей педагогической практике. При этом необходимо уточнить, какие именно разделы и методы ТРИЗ чаще всего включаются в программы обучения. Анализ многочисленных работ показал, что самыми распространенными являются приемы и методы развития творческого воображения (РТВ). На втором месте стоят элементы системного подхода к рассмотрению объектов природы и техники, и лишь на третьем месте по популярности у преподавателей находится алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), что хоть и не является конечной целью изучения курса ТРИЗ, но представляет собой основную (и доминирующую) его часть.

Согласно распространенному мнению среди педагогов, использующих данный комплекс методов, главная цель изучения ТРИЗ с самых ранних школьных лет заключается в формировании комплексного и нестандартного взгляда на решение не только конкретно изобретательских, но и иных нестандартных, обладающих повышенной сложностью задач иных дисциплин школьной (и не только) программы. Акцент на ТРИЗ как на более интересном формате системы мышления, взгляде на окружающий мир может заложить прочный фундамент для дальнейшего нестандартного взгляда на программу обучения.

Развитие у детей способности и навыка решать «неформатные», необычные задачи, воспитание разносторонней личности, готовой к восприятию любой ситуации в быстро меняющемся мире, формирование общей культуры в постижении новых дисциплин – все это постепенно подводит учащегося к совершенствованию навыка самостоятельной работы и впоследствии к более обдуманному и взвешенному профессиональному самоопределению.

В сентябре 2018 г. была начата работа в ГБОУ № 192 «Брюсовская гимназия» в должности педагога внеклассного образования по ТРИЗ. Была поставлена задача составления программ изучения этой дисциплины для школьников начальной, средней и старшей школы. В процессе работы были обнаружены серьезные трудности, связанные с заинтересованностью и потребностью учащихся в этом предмете. АРИЗ – достаточно трудный инструмент ТРИЗ, он требует кропотливой и последовательной работы, а проблема многих детей в настоящее время – это направленность на пассивное восприятие информации, ее развлекательный аспект.

Бесспорно, АРИЗ – это инструмент для решения конкретных технических задач, поэтому не только ученику или студенту бывает сложно усмотреть связь ТРИЗ и АРИЗ с наглядными и конкретными дисциплинами, но использовать АРИЗ при обучении ТРИЗ необходимо, чтобы научить логически мыслить, видеть вокруг себя задачи (необязательно при этом формализованные) и уметь их решать.

В самом начале педагогической работы было установлено, что учащиеся начальной школы, находя решения для тех или иных задач, часто пытаются угадать ответ или придумать что-то из опыта компьютерных игр и фантастических фильмов. Осознание детьми того факта, что в сказке «Морозко» не могло быть радиоуправляемых оленей для спасения Настеньки от замерзания в лесу или сигнализации на посохе Морозко, вызывало на первых порах порой нежелание двигаться дальше по пути самостоятельного размышления или попытки предложить какое-то свое решение задачи, но тем не менее, используя игровые формы или задействуя процессы обмена воспоминаниями о книгах или фильмах на основе русских сказок, удавалось подвести ребят к поиску психологических и физических ресурсов в контексте решения задачи.

В течение учебного года часто возникали подобные конфликты интересов, так как на дополнительных занятиях в конце дня ученикам часто не хватает сил и усидчивости концентрироваться на таких деталях, как ресурсы конкретной задачи или приемы разрешения технических противоречий. Тем не менее на данный момент (апрель 2019) представлен следующий результат: ученики приблизились к решению по определенному алгоритму, близкому к представленным далее, так как подобный ход размышления стал уже не только ограниченным алгоритмом, но и естественным ходом мысли при разборе задачи. Да, внимание младших учеников не было акцентировано на теоретических тонкостях АРИЗ, было фактически неоднократно проговорено решение самой первой задачи на занятии, чтобы освежить изученные моменты с добавлением новых элементов для конкретной задачи. Например, первые занятия были начаты с задачи «Умная галка» по известному рассказу Л. Н. Толстого:

«Захотела галка пить. Заметила она на столе кувшин с водой. В кувшине было мало воды. Галка не могла достать ее...»

На самом первом занятии ученикам было предложено вспомнить и постараться правильно сформулировать проблему задачи. На следующем занятии ребята уже смогли определить, что конфликтующей парой является галка и вода: «Галка хочет пить, а вода «вредничает», так как галке ее не достать». Исходя из этого, удалось сформулировать идеальный конечный результат задачи и далее продвигаться по определенному алгоритму.

Далее представлены упрощенные алгоритмы решения изобретательских задач для школьников и дошкольников, а также развернутый алгоритм решения (рис. 1–3).

На иллюстрациях использованы следующие нерасшифрованные в схемах аббревиатуры и термины:

- ФОР – функционально ориентированный поиск, т.е. поиск возможных областей применения.
- Элепольные модели – позволяют описать модели проблемных ситуаций (задач) и варианты развития элепольной структуры (новая система).
- ПРТП – приемы решения технических противоречий.
- ПРФП – приемы решения физических противоречий.
- ВПР – вещественно-полевые ресурсы конкретной задачи.

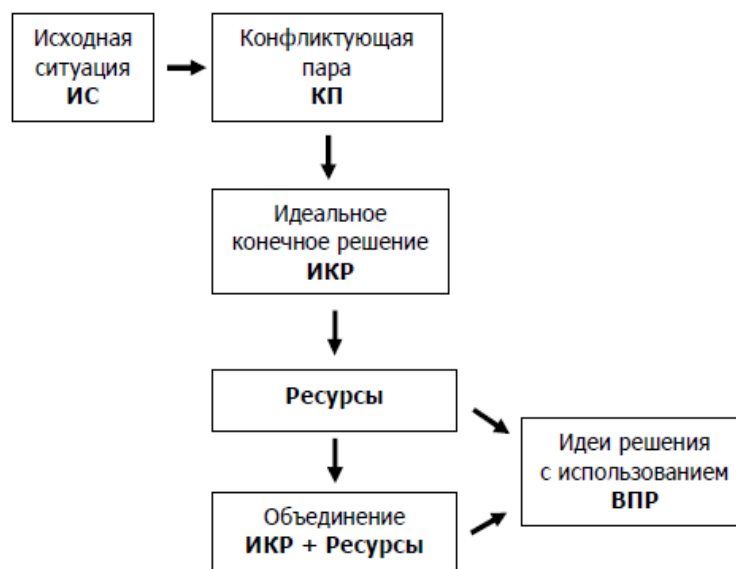


Рис. 1. Образец алгоритма для дошкольников

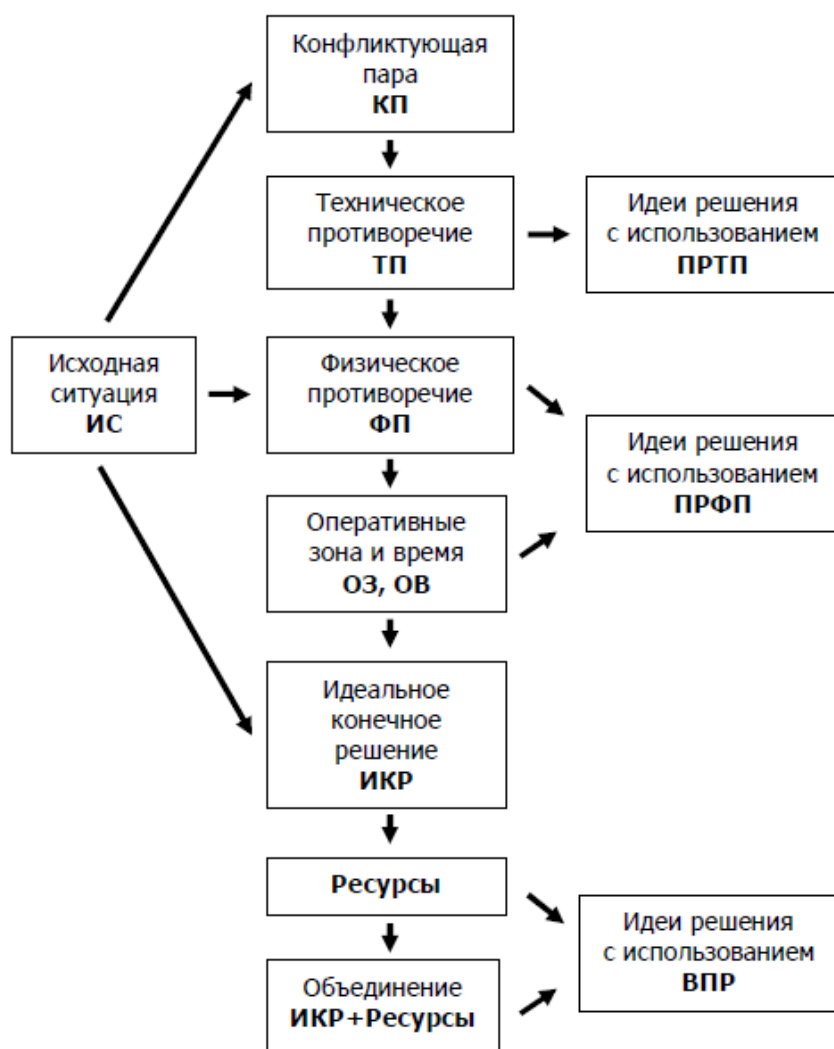


Рис. 2. Структура алгоритма для учащихся начальной и средней школы

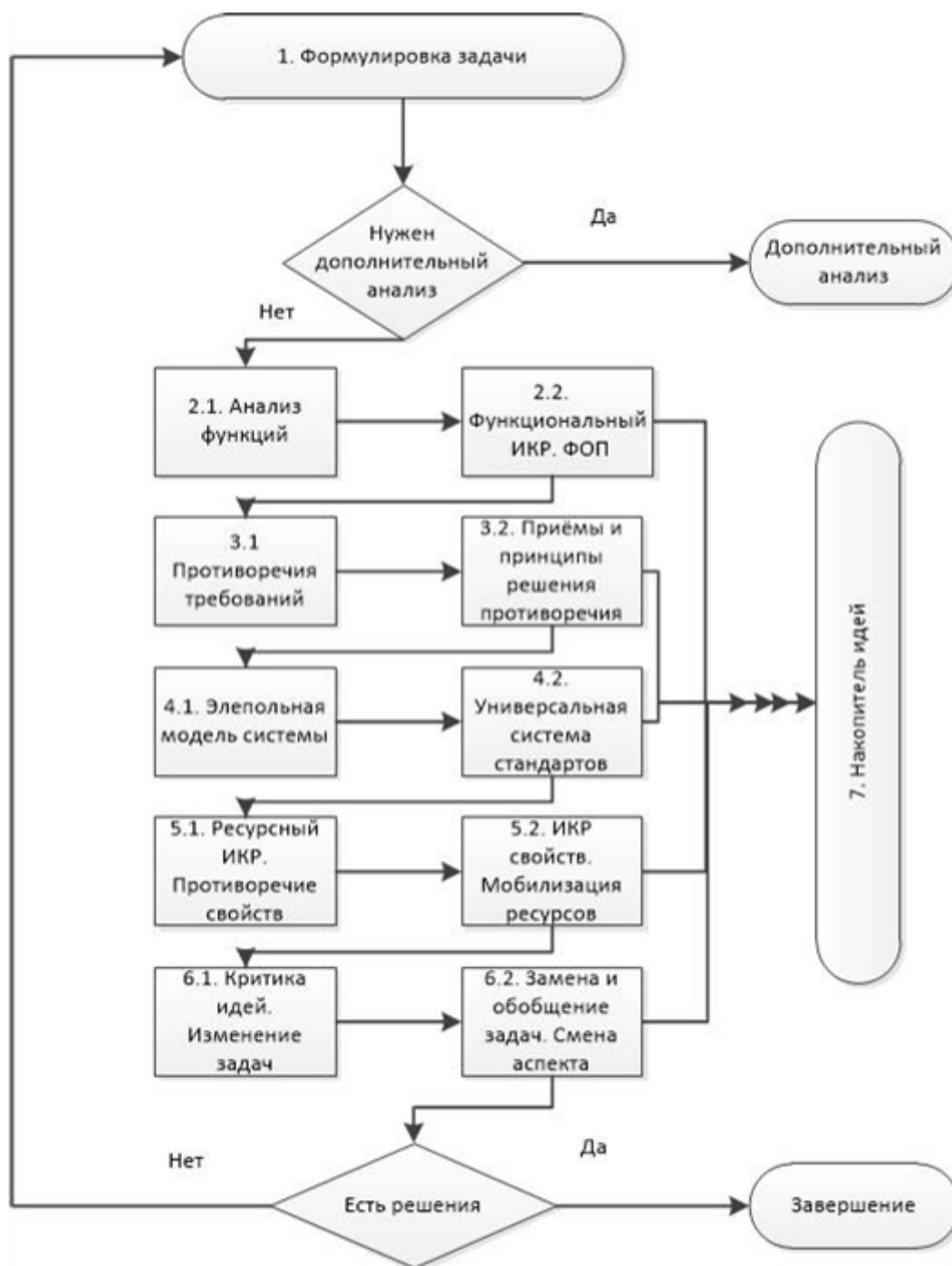


Рис. 3. Структура алгоритма для старшеклассников и студентов

Теория решения изобретательских задач делает настолько значительный акцент именно на инженерном и техническом творчестве, что может показаться, что людям с гуманитарным складом ума подобные алгоритмы совершенно ни к чему, но откуда же тогда берутся задачи следующего плана:

«Выбор»

В романе И. П. Тургенева «Отцы и дети» (Базаров) и в романе Н. Г. Чернышевского «Что делать?» (Рахметов) герои отказываются от семьи и личного благополучия ради овладевшей ими идеи. Сейчас большинство молодых людей, наоборот, посвящают свою жизнь исключительно благообеспечению себя и близких. Но идея может оказаться ложной, а благополучие – скучным или не-

прочным. В итоге оба пути, как правило, приводят к осознанию неправильности выбора, зря потратившей жизни.

Как себя вести при выборе пути? На этой задаче многие обломали зубы. Попробуйте решить ее методами ТРИЗ. (Задача подготовлена А. Кисловым, Е. Пчелкиной.)

Анализируя подобные задачи для студентов и учащихся старшей школы, можно убедиться, что методы ТРИЗ помогают не только в тех случаях, когда перед решающим стоит проблема урегулирования технического или физического противоречия, но и в случаях, когда речь идет о социологических, психологических проблемах. Таким образом, ТРИЗ не только развивает техническое творчество и креативные склонности, но и помогает проследить за психологической адаптацией учеников и студентов. Кроме того, существует предположение, что в дальнейшем с помощью ТРИЗ (хоть и неявно) можно решать проблемы взаимоотношений в производственном коллективе.

Если сконцентрироваться на технической направленности применения ТРИЗ, то, конечно, многое упирается в техническое творчество и возможность его осуществления. Исследование психики человека, совершенствующего средства труда, имеет большое значение для изучения и понимания закономерностей технического творчества – основы технического прогресса.

С. Л. Рубинштейн впервые правильно указал на характерные особенности изобретательского творчества: «Специфика изобретения, отличающая его от других форм творческой интеллектуальной деятельности, заключается в том, что оно должно создать вещь, реальный предмет, механизм или прием, который разрешает определенную проблему. Этим определяется своеобразие творческой работы изобретателя: изобретатель должен ввести что-то новое в контекст действительности, в реальное протекание какой-то деятельности».

Психология творчества является одним из наиболее слабо разработанных разделов психологической науки. Творчество – это сложный процесс, многогранный, трудноуловимый и фактически неизмеримый, кроме как по его результатам. Но специфика изобретательского творчества в известной степени упрощает задачу исследователя. Изобретательское творчество связано с изменением техники, развивающейся по определенным законам, поэтому изобретатель – непосредственный участник технического прогресса.

Другой вопрос – сможет ли в наше время студент, школьник стать изобретателем без соответствующей подготовки? Двадцать первый век отличается от всех предыдущих столетий тем, что многое в техническом плане уже достигнуто, мир постепенно осваивает Индустрию 4.0, очень сложно, фигурально выражаясь, изобрести колесо, то есть привести в мир базовую инновацию. Именно поэтому необходимо развивать творческий потенциал у детей с дошкольного возраста. Формирование умений, связанных с восприятием, целесообразно начинать в том возрасте, когда становится возможен активный диалог с ребенком.

Таким образом, для равных стартовых возможностей на пороге школы дети должны обладать тремя основными умениями: адекватно воспринимать, быстро сохранять и правильно перерабатывать разнообразную информацию. Для развития этих трех умений, согласно педагогическим и психологическим исследованиям, в последние годы выбирают нейропедагогику, эйдетику и ТРИЗ. Итак, ТРИЗ-педагогика обладает высоким потенциалом в повышении эффективности образовательного процесса. Знакомство с этим направлением может проходить легче в студенческие годы на семинарах в течение рабочей практики, но при этом оно будет менее эффективным, чем при более раннем изучении. В свою очередь преподавание ТРИЗ (АРИЗ) как инструмента переработки информации в дошкольном возрасте и в школе должно носить увлекательный характер, чтобы привычка мыслить нестандартно, творчески, привычка формировать решение на основе логических умозаключений формировалась не через силу.

Как же сделать АРИЗ доступным, интересным и в то же время информативным для учащихся любого возраста?

1. В первую очередь любой методологии должна быть присуща динамика, чтобы учащийся использовал только те шаги, которые уже пройдены и которых достаточно для решения конкретной задачи (разрешения конкретного противоречия).

2. Развитие у учащихся навыков «входить» в задачу и получать идеи решения на любом шаге алгоритма. Методом в данном случае служит внедрение манипуляции с поиском конфликтной пары и формулировкой идеального конечного результата.

3. Знакомство с каждым последующим шагом обучения требует учитывать особенности восприятия разного возраста – например, для дошкольников и школьников младшего возраста шаги алгоритма должны иметь яркий запоминающийся образ, для школьников среднего и старшего возраста шаги должны быть подкреплены конкретными наглядными примерами, а для студентов – примерами использования приемов в бизнес-задачах и задачах курса физики (механики).

4. Все шаги методологии должны быть связаны между собой.

5. Важно отметить, что на прямое постижение приемов ТРИЗ не должно уходить все занятие. Для разминки и контроля знаний по определению качеств, ресурсов задач, для проверки ассоциативного мышления учащихся можно использовать следующие методы: метод мозгового штурма, метод научного перебора, метод цепочек гирлянд-ассоциаций, метод Робинзона Крузо (наиболее применим в дошкольном и школьном возрасте, возможно решение с рисованием), метод морфологического ящика (подходит для старшеклассников и студентов), ментальные карты (начиная со средней школы).

Таким образом, если начать интегрировать в образовательный процесс методики ТРИЗ не только в начальной школе, но и на стадии дошкольного образования, можно добиться того, что целый ряд мыслительных операций обучающихся перейдет в алгоритмическое русло и нестандартный подход к решению как бытовых, так и учебных (а в последствие и рабочих) задач будет формироваться постепенно и как бы сам собой.

ТРИЗ-педагогика может выступать в качестве инновационного, а в дальнейшем и необходимого элемента образовательного процесса, во многом способствуя формированию личности творческой, обладающей нестандартным подходом к решению сложных задач.

Библиографический список

1. *Альтшуллер, Г. С.* О психологии изобретательского творчества / Г. С. Альтшуллер, Р. Б. Шапиро // Вопросы психологии. 1956. № 6. С. 37–49.
2. *Альтшуллер, Г. С.* Как делаются открытия / Г. С. Альтшуллер. Баку, 1960.
3. *Рубинштейн, С. Л.* Основы общей психологии / С. Л. Рубинштейн. Питер, 2015.
4. *Пчелкина, Е. Л.* По ступенькам ТРИЗ / Е. Л. Пчелкина. СПб.: Родные просторы, 2010 (ч. 1), 2011 (ч. 2).
5. *Кислов, А. В.* ТРИЗ как средство реализации универсальных учебных действий / А. В. Кислов, Е. Л. Пчелкина // Три поколения ТРИЗ. СПб: РОО «ТРИЗ-Петербург», 2010.

УДК 519.622.1

В. А. Ошуркова

студент кафедры высшей математики и механики

Л. П. Вершинина

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Выделяются следующие виды анализа моделей динамических систем [1]:

- анализ выходных процессов (решается задача, в которой необходимо по входному сигналу и описанию системы найти выходной сигнал);
- анализ устойчивости (изучается способность системы возвращаться в исходный или близкий к нему установившийся режим из различных начальных состояний);
- анализ чувствительности (исследуется влияние изменения параметров системы на ее поведение);
- анализ управляемости (изучается способность системы переходить из заданного начального состояния в заданное конечное под действием входного сигнала, характеризующего в данном случае управляющее воздействие);
- анализ наблюдаемости (исследуется возможность восстановить информацию о состоянии системы по имеющимся измерениям).

Для всех этих видов анализа используются модели, которые, как правило, представляют собой дифференциальные уравнения или системы дифференциальных уравнений. Такие уравнения могут быть сложны для решения аналитически. В этом случае применяются численные методы, подразумевающие решение задачи Коши.

Численные методы предусматривают нахождение решения в узлах сетки $\Omega_n = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$, где $h_{i+1} = x_{i+1} - x_i, i = \overline{0, n-1}$ – расстояние между соседними узлами, называемое шагом интегрирования. Сетка может быть равномерной ($h_{i+1} = h = \text{const}$), тогда узлы находятся по формуле $x_{i+1} = x_0 + ih, i = \overline{0, n}$, и неравномерной ($h_{i+1} = \text{var}$), при которой значение узла находится с помощью параметра нерегулярности $\delta_{i+1} = \frac{h_{i+1}}{h_i}$.

Решение находится в виде последовательности значений $\hat{y}_0, \hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n$, являющихся приближением значений $y_0, y(x_1), \dots, y(x_n)$ точного решения $y(x)$ в узлах сетки Ω_n . Погрешности вычислений связаны с понятиями локальных и глобальных ошибок.

Численные дискретные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений, позволяющие найти решение только в узлах сетки, делятся на две группы: явные и неявные [2].

Значение \hat{y}_{i+1} на $(i+1)$ -м шаге может определяться явно:

$$\hat{y}_{i+1} = \Phi(x_{i-k+1}, \dots, x_{i-1}, x_i, \hat{y}_{i-k+1}, \dots, \hat{y}_{i-1}, \hat{y}_i),$$

где $\Phi(\cdot)$ – некоторая функция, зависящая от конкретного метода, или неявно:

$$\hat{y}_{i+1} = \Phi(x_{i-k+1}, \dots, x_{i-1}, x_i, \hat{y}_{i-k+1}, \dots, \hat{y}_{i-1}, \hat{y}_i, \hat{y}_{i+1}),$$

где искомая величина \hat{y}_{i+1} входит одновременно и в левую, и в правую части.

Достоинство неявных методов состоит в том, что они более устойчивы, отчего их, как правило, используют при решении жестких дифференциальных уравнений, к которым неприменимы явные методы, и систем ДУ. Такие методы практикуются в современных перспективных системах автоматизированного моделирования, применяемых для моделирования технических систем. Недостаток неявных методов состоит в том, что они требуют больших вычислений по сравнению с явными методами.

Формулы явных или неявных методов в общем случае представляют собой нелинейные уравнения относительно \hat{y}_{i+1} и называются разностными схемами.

Явные и неявные методы могут быть одношаговыми или многошаговыми (k -шаговыми). В одношаговых методах для расчета очередной точки (x_{i+1}, \hat{y}_{i+1}) требуется информация только

о последней рассчитанной точке (x_i, \hat{y}_i) . В k -шаговых методах для нахождения точки (x_{i+1}, \hat{y}_{i+1}) требуется информация о k предыдущих точках.

Наиболее употребительными являются два явных метода четвертого порядка точности: одношаговый метод Рунге – Кутты и многошаговый метод Адамса [3].

При решении дифференциального уравнения методом Рунге – Кутты четвертого порядка используется следующая формула:

$$\hat{y}_{i+1} = \hat{y}_i + \frac{T_1 + 2 \cdot T_2 + 2 \cdot T_3 + T_4}{6}, \quad i = \overline{0, n-1}, \quad (1)$$

где
$$\begin{cases} T_1 = h \cdot f(x_i, \hat{y}_i) \\ T_2 = h \cdot f(x_i + \frac{h}{2}, \hat{y}_i + \frac{T_1}{2}) \\ T_3 = h \cdot f(x_i + \frac{h}{2}, \hat{y}_i + \frac{T_2}{2}) \\ T_4 = h \cdot f(x_i + h, \hat{y}_i + T_3) \end{cases}$$

Метод Рунге – Кутты является одношаговым, так как значение \hat{y}_{i+1} вычисляется на основе текущего значения \hat{y}_i , в котором на одной итерации требуется вычислять значение правой части решаемого уравнения четыре раза.

С повышением порядка точности в одношаговых методах увеличивается и объем вычислений. Для его снижения используются многошаговые методы, подразумевающие получение уточняющей информации не за счет дополнительных точек, а из предыдущих шагов. Такие методы используют ряд предыдущих точек решения.

При решении дифференциального уравнения методом Адамса четвертого порядка используется следующая формула:

$$\hat{y}_{i+1} = \hat{y}_i + \frac{h}{24} [55f_i - 59f_{i-1} + 37f_{i-2} - 9f_{i-3}], \quad i = \overline{3, n-1}, \quad (2)$$

где $f_i = f(x_i, \hat{y}_i)$.

В данной формуле используются четыре «разгонные» точки: $\hat{y}_0, \hat{y}_1, \hat{y}_2, \hat{y}_3$. Их необходимо вычислить с порядком точности не меньше порядка точности схемы.

На примере уравнения $y' = y$ сравним методы Рунге – Кутты и Адамса (четвертого порядка точности) с начальным условием $y(0) = 1$ на отрезке $[0; 8]$ с шагом интегрирования $h = 0,5$.

Решение уравнения методом Рунге – Кутты четвертого порядка.

Вычисление значений T_1, T_2, T_3 и T_4 для нахождения \hat{y}_1 через значения x_0 и \hat{y}_0 (в данном случае лишь через \hat{y}_0):

$$\begin{aligned} T_1 &= 0,5 \cdot f(x_0, \hat{y}_0) = 0,5 \cdot 1 = 0,5; \\ T_2 &= 0,5 \cdot f\left(x_0 + \frac{h}{2}, \hat{y}_0 + \frac{T_1}{2}\right) = 0,5 \cdot 1,25 = 0,625; \\ T_3 &= 0,5 \cdot f\left(x_0 + \frac{h}{2}, \hat{y}_0 + \frac{T_2}{2}\right) = 0,5 \cdot 1,3125 \approx 0,6563; \\ T_4 &= 0,5 \cdot f(x_0 + h, \hat{y}_0 + T_3) = 0,5 \cdot 1,6563 \approx 0,8281. \end{aligned}$$

Нахождение \hat{y}_1 по формуле (1):

$$\hat{y}_1 = \hat{y}_0 + \frac{T_1 + 2 \cdot T_2 + 2 \cdot T_3 + T_4}{6} = 1 + \frac{0,5 + 2 \cdot 0,625 + 2 \cdot 0,6563 + 0,8281}{6} = 1,6484.$$

Вычисление значений T_1, T_2, T_3 и T_4 для нахождения \hat{y}_2 через x_1 и полученное \hat{y}_1 (в данном случае лишь через \hat{y}_1):

$$\begin{aligned} T_1 &= 0,5 \cdot f(x_1, \hat{y}_1) = 0,5 \cdot 1,6484 \approx 0,8242; \\ T_2 &= 0,5 \cdot f\left(x_1 + \frac{h}{2}, \hat{y}_1 + \frac{T_1}{2}\right) \approx 0,5 \cdot 2,0605 \approx 1,0303; \\ T_3 &= 0,5 \cdot f\left(x_1 + \frac{h}{2}, \hat{y}_1 + \frac{T_2}{2}\right) \approx 0,5 \cdot 2,1636 \approx 1,0818; \\ T_4 &= 0,5 \cdot f(x_1 + h, \hat{y}_1 + T_3) = 0,5 \cdot 2,7302 \approx 1,3651. \end{aligned}$$

Нахождение \hat{y}_2 по формуле (1):

$$\hat{y}_2 = \hat{y}_1 + \frac{T_1 + 2 \cdot T_2 + 2 \cdot T_3 + T_4}{6} = 1,6484 + \frac{0,8242 + 2 \cdot 1,0303 + 2 \cdot 1,0818 + 1,3651}{6} = 2,7173.$$

Вычисление значений T_1, T_2, T_3 и T_4 для нахождения \hat{y}_3 через x_2 и полученное \hat{y}_2 (в данном случае лишь через \hat{y}_2):

$$\begin{aligned} T_1 &= 0,5 \cdot f(x_2, \hat{y}_2) = 0,5 \cdot 2,7173 \approx 1,3588; \\ T_2 &= 0,5 \cdot f\left(x_2 + \frac{h}{2}, \hat{y}_2 + \frac{T_1}{2}\right) \approx 0,5 \cdot 3,3967 \approx 1,6983; \\ T_3 &= 0,5 \cdot f\left(x_2 + \frac{h}{2}, \hat{y}_2 + \frac{T_2}{2}\right) \approx 0,5 \cdot 3,5665 \approx 1,7833; \\ T_4 &= 0,5 \cdot f(x_2 + h, \hat{y}_2 + T_3) = 0,5 \cdot 4,5006 \approx 2,2503. \end{aligned}$$

Нахождение \hat{y}_3 по формуле (1):

$$\hat{y}_3 = \hat{y}_2 + \frac{T_1 + 2 \cdot T_2 + 2 \cdot T_3 + T_4}{6} \approx 2,7173 + \frac{1,3588 + 2 \cdot 1,6983 + 2 \cdot 1,7833 + 2,2503}{6} = 4,4794.$$

Аналогично были найдены оставшиеся значения \hat{y}_i .

Решение уравнения методом Адамса четвертого порядка.

«Разгонные» точки:

$$\begin{aligned} \hat{y}_0 &= 1; \\ \hat{y}_1 &= 1,6484; \\ \hat{y}_2 &= 2,7173; \\ \hat{y}_3 &= 4,4794. \end{aligned}$$

Нахождение \hat{y}_4 по формуле (2):

$$\begin{aligned} \hat{y}_4 &= \hat{y}_3 + \frac{0,5}{24} [55f_3 - 59f_2 + 37f_1 - 9f_0] = \\ &= 4,4794 + \frac{0,5}{24} [55 \cdot 4,4794 - 59 \cdot 2,7173 + 37 \cdot 1,6484 - 9 \cdot 1] = 7,3551. \end{aligned}$$

Аналогично были найдены оставшиеся значения \hat{y}_i .

Для сравнения решим уравнение аналитическим методом:

$$\begin{aligned} y' &= y, \\ \frac{dy}{dx} - y &= 0. \end{aligned}$$

Умножив правую и левую части на dx и разделив на y , получаем:

$$\frac{dy}{y} - dx = 0.$$

Проинтегрируем:

$$\int \frac{dy}{y} - \int dx = \int 0.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \ln|y| - x &= C. \\ y &= e^{x+C} - \text{общее решение.} \end{aligned}$$

Решим задачу Коши при $y(0) = 1$:

$$1 = e^{0+C} = e^C \Rightarrow C = 0.$$

Таким образом, частное решение данного уравнения примет вид

$$y = e^x.$$

Подставив в полученное уравнение значение x_1 , найдем значение \hat{y}_1 :

$$\hat{y}_1 = e^{x_1} = e^{0,5} \approx 1,6487.$$

Аналогично были найдены оставшиеся значения \hat{y}_i .

Сравнительная таблица полученных результатов

№	x	Точный результат	Метод Адамса	Метод Рунге – Кутты
0	0	1	1	1
1	0,5	1,6487	1,6484	1,6484
2	1	2,7183	2,7173	2,7173
3	1,5	4,4817	4,4794	4,4794
4	2	7,3891	7,3551	7,3840
5	2,5	12,1825	12,0955	12,1720
6	3	20,0855	19,9098	20,0648
7	3,5	33,1155	32,7913	33,0756
8	4	54,5982	54,0255	54,5230
9	4,5	90,0171	89,0287	89,8778
10	5	148,4132	146,7294	148,1579
11	5,5	244,6919	241,8454	244,2291
12	6	403,4288	398,6382	402,5963
13	6,5	665,1416	657,1012	663,6549
14	7	1096,6332	1083,1614	1093,9936
15	7,5	1808,0424	1785,4951	1803,3801
16	8	2980,9580	2943,2481	2972,7595

По результатам сравнительной табл. 1 можно сделать вывод о том, что в данном уравнении метод Рунге – Кутты точнее метода Адамса, так как имеет меньшую абсолютную погрешность относительно точного результата.

Однако нельзя однозначно сказать, что метод Рунге – Кутты точнее. Если в качестве примера взять уравнение $y' = \frac{x+y}{x}$ с начальным условием $y(1) = 0$ на отрезке $[0; 17]$ с шагом интегрирования $h = 0,8$, мы получим иной результат.

Решение уравнения методом Рунге – Кутты четвертого порядка.

Вычисление значений T_1, T_2, T_3 и T_4 для нахождения \hat{y}_1 через значения x_0 и \hat{y}_0 :

$$T_1 = 0,8 \cdot f(x_0, \hat{y}_0) = 0,8 \cdot \left(\frac{1+0}{1}\right) = 0,8;$$

$$T_2 = 0,8 \cdot f\left(x_0 + \frac{h}{2}, \hat{y}_0 + \frac{T_1}{2}\right) = 0,8 \cdot \left(\frac{1,4+0,4}{1,4}\right) \approx 1,0286;$$

$$T_3 = 0,8 \cdot f\left(x_0 + \frac{h}{2}, \hat{y}_0 + \frac{T_2}{2}\right) = 0,8 \cdot \left(\frac{1,4+0,5143}{1,4}\right) \approx 1,0939;$$

$$T_4 = 0,8 \cdot f(x_0 + h, \hat{y}_0 + T_3) = 0,8 \cdot \left(\frac{1,8+1,0939}{1,8}\right) \approx 1,2862.$$

Нахождение \hat{y}_1 по формуле (1):

$$\hat{y}_1 = \hat{y}_0 + \frac{T_1 + 2 \cdot T_2 + 2 \cdot T_3 + T_4}{6} \approx 0 + \frac{0,8 + 2 \cdot 1,0286 + 2 \cdot 1,0939 + 1,2862}{6} \approx 1,0552.$$

Вычисление значений T_1, T_2, T_3 и T_4 для нахождения \hat{y}_2 через x_1 и полученное \hat{y}_1 :

$$T_1 = 0,8 \cdot f(x_1, \hat{y}_1) = 0,8 \cdot \left(\frac{1,8+1,0552}{1,8}\right) \approx 1,269;$$

$$T_2 = 0,8 \cdot f\left(x_1 + \frac{h}{2}, \hat{y}_1 + \frac{T_1}{2}\right) = 0,8 \cdot \left(\frac{2,2+1,6897}{2,2}\right) \approx 1,4144;$$

$$T_3 = 0,8 \cdot f\left(x_1 + \frac{h}{2}, \hat{y}_1 + \frac{T_2}{2}\right) = 0,8 \cdot \left(\frac{2,2+1,7624}{2,2}\right) \approx 1,4409;$$

$$T_4 = 0,8 \cdot f(x_1 + h, \hat{y}_1 + T_3) = 0,8 \cdot \left(\frac{2,6+2,4960}{2,6}\right) \approx 1,568.$$

Нахождение \hat{y}_2 по формуле (1):

$$\hat{y}_2 = \hat{y}_1 + \frac{T_1 + 2 \cdot T_2 + 2 \cdot T_3 + T_4}{6} \approx 1,0552 + \frac{1,269 + 2 \cdot 1,4144 + 2 \cdot 1,4409 + 1,568}{6} \approx 2,4798.$$

Вычисление значений T_1, T_2, T_3 и T_4 для нахождения \hat{y}_3 через x_2 и полученное \hat{y}_2 :

$$T_1 = 0,8 \cdot f(x_2, \hat{y}_2) = 0,8 \cdot \left(\frac{2,6 + 2,4798}{2,6} \right) \approx 1,563;$$

$$T_2 = 0,8 \cdot f\left(x_2 + \frac{h}{2}, \hat{y}_2 + \frac{T_1}{2}\right) = 0,8 \cdot \left(\frac{3 + 3,2613}{3} \right) \approx 1,6697;$$

$$T_3 = 0,8 \cdot f\left(x_2 + \frac{h}{2}, \hat{y}_2 + \frac{T_2}{2}\right) = 0,8 \cdot \left(\frac{3 + 3,3136}{3} \right) \approx 1,6839;$$

$$T_4 = 0,8 \cdot f(x_2 + h, \hat{y}_2 + T_3) = 0,8 \cdot \left(\frac{3,4 + 4,1637}{3,4} \right) \approx 1,6839.$$

Нахождение \hat{y}_3 по формуле (1):

$$\hat{y}_3 = \hat{y}_2 + \frac{T_1 + 2 \cdot T_2 + 2 \cdot T_3 + T_4}{6} \approx 2,4798 + \frac{1,563 + 2 \cdot 1,6697 + 2 \cdot 1,6839 + 1,6839}{6} \approx 4,1547.$$

Аналогично были найдены оставшиеся значения \hat{y}_i .

Решение уравнения методом Адамса четвертого порядка.

«Разгонные» точки:

$$\hat{y}_0 = 0;$$

$$\hat{y}_1 = 1,0552;$$

$$\hat{y}_2 = 2,4798;$$

$$\hat{y}_3 = 4,1547.$$

Нахождение \hat{y}_4 по формуле (2):

$$\begin{aligned} \hat{y}_4 &= \hat{y}_3 + \frac{0,8}{24} [55f_3 - 59f_2 + 37f_1 - 9f_0] = \\ &= 4,1547 + \frac{0,8}{24} [55 \cdot 2,222 - 59 \cdot 1,9538 + 37 \cdot 1,5862 - 9 \cdot 1] = 6,0198. \end{aligned}$$

Аналогично были найдены оставшиеся значения \hat{y}_i .

Для сравнения решим уравнение аналитическим методом:

$$y' = \frac{x+y}{x},$$

$$y' = 1 + \frac{y}{x}.$$

Пусть $\frac{y}{x} = t$, тогда $y' = t + x \frac{dt}{dx}$.

Получаем уравнение с разделяющимися переменными:

$$t + x \frac{dt}{dx} = 1 + t \text{ или } x \frac{dt}{dx} = 1.$$

Умножив правую и левую части на dx и разделив на x , получаем:

$$dt = \frac{dx}{x}.$$

Проинтегрируем:

$$\int dt = \int \frac{dx}{x}.$$

$$t = \ln|x| + C.$$

Вернемся к замене:

$$\frac{y}{x} = \ln|x| + C.$$

Умножив правую и левую части на x , получаем общее решение данного уравнения:

$$y = x \cdot \ln|x| + C \cdot x.$$

Решим задачу Коши при $y(1) = 0$:

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

$$0 = 1 \cdot \ln 1 + 1 \cdot C \Rightarrow C = 0.$$

Таким образом, частное решение уравнения примет вид

$$y = x \cdot \ln|x|.$$

Подставив в полученное уравнение значение x_1 , найдем значение \hat{y}_1 :

$$\hat{y}_1 = x_1 \cdot \ln|x_1| = 1,8 \cdot \ln|1,8| \approx 1,0580.$$

Аналогично были найдены оставшиеся значения \hat{y}_i .

Таблица 2

Сравнительная таблица полученных результатов

№	x	Точный результат	Метод Адамса	Метод Рунге – Кутты
0	1	0	0	0
1	1,8	1,0580	1,0552	1,0552
2	2,6	2,4843	2,4798	2,4798
3	3,4	4,1608	4,1547	4,1547
4	4,2	6,0274	6,0423	6,0198
5	5	8,0472	8,0672	8,0381
6	5,8	10,1956	10,2167	10,1851
7	6,6	12,4547	12,4756	12,4427
8	7,4	14,8110	14,8311	14,7975
9	8,2	17,2539	17,2730	17,2390
10	9	19,7750	19,7929	19,7587
11	9,8	22,3673	22,3839	22,3496
12	10,6	25,0251	25,0403	25,0058
13	11,4	27,7432	27,7571	27,7225
14	12,2	30,5175	30,5300	30,4954
15	13	33,3443	33,3554	33,3208
16	13,8	36,2204	36,2301	36,1954
17	14,6	39,1429	39,1511	39,1164
18	15,4	42,1093	42,1160	42,0813
19	16,2	45,1172	45,1225	45,0878
20	17	48,1646	48,1685	48,1338

По результатам сравнительной табл. 2 можно сделать вывод, что в данном уравнении нельзя определить, какой из методов точнее. Абсолютная погрешность последовательности полученных значений в начальных узлах сетки у метода Рунге – Кутты имеет меньшее значение, в то время как в последних узлах сетки меньшее значение абсолютной погрешности появляется у метода Адамса. Кроме того, и в том и в другом методе значения практически равны точному результату.

В качестве общего вывода можно сказать, что метод Адамса по сравнению с методом Рунге – Кутты той же точности более экономичен, так как на каждом шаге только один раз требуется вычислить правую часть ДУ. Однако для использования метода Адамса необходимо знать значение функции \hat{y} в нескольких предыдущих точках. Эти значения необходимо определять одношаговым методом, что усложняет алгоритм вычисления. Кроме того, метод Адамса не позволяет изменять шаг h в процессе счета, что является доступным для одношаговых методов.

Таким образом, для анализа моделей динамических объектов можно использовать численные методы решения дифференциальных уравнений. Выбор метода зависит от поставленной задачи.

Библиографический список

1. *Демидович, Б. П.* Численные методы анализа / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова М.: Физматгиз, 1963. 400 с.
2. *Волков, Е. А.* Численные методы / Е. А. Волков. М.: Наука, 1982. 254 с.
3. *Семенов, В. В.* Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений / В. В. Семенов, А. В. Пантелеев, А. С. Бортаковский; под ред. Дж. Холл, Дж. Уатт. М.: Мир, 1979. 312 с.

УДК 316.323

Е. А. Смещук

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

Я. А. Щеников

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБЩЕСТВО 5.0

Окружающая нас действительность меняется с невероятной скоростью. Казалось бы, еще недавно мы удивлялись мобильным телефонам, а теперь не мыслим своего существования без них. При помощи смартфона мы общаемся, рассчитываемся в магазинах, можем удаленно включить «умный чайник» и т.д. Что же нас ждет дальше?

Ощущение того, что общество стоит на пороге чего-то грандиозного и масштабного по своей сущности постоянно присутствует в нашем сознании. Это прослеживается в появлении новых направлений науки и техники, в легкости получения необходимой информации, в возможности решать многие проблемы не выходя из дома.

Представьте неограниченные возможности общества, в котором миллиарды людей связаны между собой мобильными устройствами, открывающими беспрецедентные горизонты в сфере обработки и хранения информации, доступа к знаниям. Подумайте о многообещающем сочетании зарождающихся технологических прорывов в самом широком спектре областей: искусственный интеллект, роботизация, интернет вещей, беспилотные автомобили, трехмерная печать, нанотехнологии, биотехнологии, материаловедение, накопление и хранение энергии, квантовые вычисления. Данные инновации активно внедряются, приближая нас к тому переломному моменту, когда они станут усиливать друг друга.

Это все не что иное, как предпосылки четвертой промышленной революции, или «Индустрии 4.0». Термин возник в 2011 г. на Ганноверской ярмарке. Реализация концепции «умного производства» создает мир, в котором виртуальные и физические производственные системы гибко взаимодействуют между собой [1].

Сейчас инновации распространяются быстрее и масштабнее, это связано с ускорением ритма жизни и глобализацией. Если в первую промышленную революцию распространение веретена заняло почти сто двадцать лет, то в третью промышленную революцию глобальная сеть Интернет распространилась менее чем за 10 лет.

Одним из признаков четвертой промышленной революции является широкое использование искусственного интеллекта (ИИ). Сфера применения ИИ многогранна и порой выходит за рамки привычных для нас направлений в науке и ведет к возникновению новых направлений в экономике, социологии, робототехнике и т.д. Искусственный интеллект уже нашел коммерческое применение во многих областях: автоматический перевод, получение бизнес-аналитики, распознавание и анализ образов, экспертные системы, извлечение информации, понимание и анализ текстов на естественном языке, интеллектуальные системы информационной безопасности, распознавание речи, робототехника, определение кредитных рисков, валютный контроль и т.д.

Все эти новшества прочно вошли в нашу жизнь и значительно облегчили многие процессы в разных сферах. У перехода на новый уровень техники и жизни есть много преимуществ, но появляются и новые проблемы. Наше общество – это общество потребителей, поэтому инновации сильно влияют на нашу жизнь и благосостояние, максимально упрощают жизнь потребителям, при этом усложняя ее производителям.

В развитых странах наблюдается снижение ВВП, что связано с внедрением инноваций, которые вынуждают замещать рабочую силу капиталом. В результате основная ставка четвертой промышленной революции делается на поставщиков интеллектуального и физического капитала: изобретателей, инвесторов, акционеров [2]. Это приводит к росту разрыва в благосостоянии между теми, кто живет собственным трудом, и теми, кто владеет капиталом. Это также объясняет разоча-

рование многих сотрудников, которые убеждены, что они никогда не смогут увеличить свой реальный доход и их дети не будут жить лучше, чем они.

Данная ситуация влечет за собой определенные социальные риски. Чтобы предотвратить концентрацию ценностей и власти в руках ограниченного числа людей, необходимо найти способ сбалансировать преимущества и риски цифровых платформ, обеспечив их открытость и широкое использование открытых инноваций.

Все это предпосылки для создания идеального общества будущего, которое называется «сверхинтеллектуальное общество», или Общество 5.0. Оно будет характеризоваться следующими способностями:

- обеспечивать необходимыми и качественными товарами и услугами всех людей, которые в них нуждаются в нужное время и в нужном количестве;
- точно реагировать на разные социальные нужды;
- преодолевать различия по возрасту, полу, региону и языку, все смогут позволить себе энергичную и комфортную жизнь.

Концепция смены общественно-экономических форматов появилась в Японии в 2016 г. и была создана совместными усилиями японского правительства и национальной бизнес-федерации «Кэйданрэн» [3]. Стратегия развития японского общества 5.0 расписана до 2022 г., она направлена на решение текущих экономических проблем, которые угрожают будущему развитию. Различия между Обществом 4.0 и Обществом 5.0 приведены в таблице.

Различия между Обществом 4.0 и Обществом 5.0

Показатели	Общество 4.0	Общество 5.0
Технологии, лежащие в основе	Компьютерные технологии, информатизация	Интернет-технологии, искусственный интеллект, биотехнологии, цифровизация
Оптимизация	Индивидуальная, через применение информационно-коммуникационных технологий	Всего общества, через интеграцию киберпространства и физического пространства
Основной ресурс	Обеспечение эффективного использования природных ресурсов	Использование новых ресурсов – данных
Масштаб решения проблем	Индивидуальные проблемы	Сложные социальные проблемы
Масштаб повышения эффективности	Повышение эффективности отдельных отраслей	Обеспечение благополучия всего общества

Ключевые технологии Общества 5.0: автономный транспорт, «умное производство», автономные финансы, возобновляемые источники энергии.

Для перехода к Обществу 5.0 необходимо преодолеть ряд проблем (стен):

- стена министерств и ведомств (бюрократия должна не мешать, а способствовать внедрению элементов Общества 5.0);
- стена законодательной системы (законодательные нормы не должны являться препятствием для прогресса);
- стена технологий (все общество должно иметь доступ к новым цифровым технологиям);
- стена человеческих ресурсов (необходимо повышение информационной грамотности населения, чтобы оно было готово к эффективному использованию цифровых технологий);
- стена принятия обществом (граждане должны принять концепцию Общества 5.0 и поддержать ее реализацию).

Самое сложное – сломать стену принятия обществом. Для этого необходимо обратить пристальное внимание на продвижение идей Общества 5.0 среди населения. Реформы, направленные на развитие Общества 5.0, должны быть приняты законодательно и в умах граждан. Также должно

проходить развитие национальной инновационной системы и реформы образования как двух ключевых и взаимосвязанных элементов, необходимых для построения Общества 5.0. Не менее важен скорейший переход к Индустрии 4.0 с ее новыми бизнес-моделями и генерацией дополнительной ценности на базе сервисов и высокотехнологичных услуг.

Индустрия 4.0 и Общество 5.0 окажут фундаментальное воздействие на все аспекты нашей жизни, позволят сформировать новый общественный строй. Человечество сможет жить долгой, здоровой и активной жизнью. Изменится ритм жизни. Кто-то предвещает полный уход в виртуальную реальность, а кто-то говорит, что мы вернемся к спокойному и размеренному ритму жизни, какой был у аристократов, ведь нам не придется больше работать, если произойдет полная роботизация.

Многообещающие перспективы сулит внедрение стандарта мобильной связи 5G. Для обычного потребителя связь 5G со скоростью передачи информации до 20 Гб – это интерактивная виртуальная реальность, быстрая беспроводная передача видео сверхвысокой четкости 4K и 8K, трансляция мероприятий и компьютерных игр с эффектом VR без задержки сигнала, высокоскоростной доступ к облачным технологиям и впечатляющим вычислительным мощностям суперкомпьютеров непосредственно со смартфона.

Как бы там ни было, Общество 5.0 уже входит в нашу жизнь, о чем свидетельствует рост инноваций и наша интеграция в «умную» среду: «умные» гаджеты, дома, города и т.д. Уже сейчас следует ориентироваться на профессии будущего, чтобы идти в ногу со временем.

Библиографический список

1. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / Клаус Шваб. М.: Эксмо, 2016. 208 с.
2. Грингард, С. Интернет вещей. Будущее уже здесь / Сэмюэл Грингард. М.: Альпина Паблишер, 2017. 224 с.
3. SuperSociety 5.0: национальная научно-технологическая стратегия Японии. URL: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/super-society-50-natsionalnaya-nauchno-tehnologicheskaya-strategiya-yaponii-20170907022301 (дата обращения: 24.03.2019).

УДК 338.364

Е. А. Смещук

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

Я. А. Щеников

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Новая, четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0) уже оказывает фундаментальное воздействие на все аспекты нашей жизни. Она уже входит в нашу жизнь, о чем свидетельствует наша интеграция в «умную» среду. Четвертая промышленная революция создает мир, в котором виртуальные и физические системы производства гибко взаимодействуют между собой на глобальном уровне.

Механизация, автоматизация, информатизация, цифровизация

Каковы дальнейшие направления повышения эффективности современного промышленного предприятия? Слово «механизация» осталось в начале XX в., слово «автоматизация» известно уже около 80 лет, под «информатизацией» производства сейчас понимается целый «зверинец» программно-аппаратных систем для обеспечения жизненного цикла изделий.

Информационная поддержка жизненного цикла изделия – явление не новое. По мере развития программного обеспечения и вычислительных средств появлялись и внедрялись различные автоматизированные системы: системы автоматизированного проектирования CAD/CAM/CAE, системы управления производством SCADA/MRP/ERP/MES, системы для работы с потребителями CRM. На более глобальном уровне работали системы PDM (система управления данными об изделии) и PLM (система управления жизненным циклом изделий). Эти системы разрабатывались различными компаниями, которые использовали собственные стандарты обмена информацией, поэтому интеграция таких плохо совместимых систем породила термин «лоскутная автоматизация».

В последнее время наметилась тенденция интеграции перечисленных систем в виде семейства программных продуктов одного производителя. Развивается и альтернативный путь – принятие единых стандартов передачи информации между программами, использующимися для поддержки жизненного цикла. Сейчас процесс внедрения систем поддержки жизненного цикла происходит быстрее и дешевле, благодаря чему производитель получает удобный и оперативный доступ к большому количеству информации, которая ежедневно как порождается на самом предприятии, так и приходит извне.

Выражаясь языком синергетики, объединенные в систему элементы, которые до этого существовали независимо, придали этой системе новое качество – синергетический эффект. Поэтому в условиях Индустрии 4.0, в отличие от Индустрии 3.0, собираемой информации больше и анализ ее более глубокий, что позволяет получать новые знания о своем предприятии и, используя эти знания, повышать его эффективность.

Виды потерь в бережливом производстве

В бережливом производстве выделяют восемь видов потерь: дефекты, избыток запасов, транспортировка, задержки, дополнительная обработка, перемещения, перепроизводство, неэффективное использование интеллектуальных ресурсов. Существует достаточно большой арсенал средств, чтобы бороться с каждым из этих видов потерь [1]. Все эти средства ориентированы на реализацию их специалистами: менеджерами, конструкторами, технологами, мастерами, однако современные производства стали настолько сложными, что специалисты нуждаются в помощи. И тут на помощь приходят цифровые технологии, которые в состоянии работать в режиме 24/7, обладают способностями предсказывать проблемы задолго до их появления, не подвержены эмоциям и никогда не лгут.

**Обслуживание оборудования по техническому состоянию
вместо планово-предупредительного ремонта**

Одна из основ Индустрии 4.0 – внедрение различных датчиков в состав промышленного оборудования, чтобы, например, получить возможность ранней диагностики неисправностей и предотвратить отказы промышленного оборудования.

Износ оборудования в процессе эксплуатации часто носит плавный характер. С течением времени даже при проведении плановых мероприятий по техобслуживанию происходит износ подвижных механических деталей, ухудшение характеристик электроники в связи со старением и т.п. Если своевременно не осуществить капитальный ремонт, то у станка может снизиться точность позиционирования рабочих инструментов, что неминуемо отразится на качестве выпускаемых этим станком деталей.

Периодическое профилактическое обслуживание эффективно и позволяет значительно снизить время незапланированных простоев. Однако оно, во-первых, предполагает наличие запланированных простоев, во-вторых, замена отдельных деталей и модулей проводится еще до того, как они вырабатывают свой ресурс, что увеличивает стоимость эксплуатации.

Альтернативный подход предполагает планирование мероприятий по обслуживанию оборудования на основе данных, получаемых от датчиков. Об износе оборудования можно судить по различным ранним косвенным признакам (рис. 1).



Рис. 1. Износ оборудования сопровождается различными косвенными признаками

Для мониторинга этих показателей используются датчики. Обработка получаемых данных производится силами не только локальных процессоров/микроконтроллеров, но и удаленных вычислительных мощностей. При этом в дело вступают не только традиционные цифровые вычислительные системы, но и нейронные сети [2, 3]. Подобное объединение физической и вычислительной систем, дающее синергетический эффект, называется киберфизической системой. Одним из примеров является разработка российских программистов – платформа Winnum [4].

Повышение эффективности использования оборудования

Любой станок периодически приходится останавливать для выполнения технического обслуживания и ремонта. Гораздо хуже, если простой вызван непредвиденной аварией. Помимо остановки оборудования на производстве возможны и другие ситуации, требующие немедленного вызо-

ва мастера, начальника участка, ремонтной бригады. Здесь на помощь приходит современный «цифровой» андон, с помощью которого оператор линии может запросить помощь (рис. 2).



Рис. 2. Традиционный андон (слева) и современный информационный киоск с «цифровым» андоном (справа)

При этом мастер, начальник цеха будут мгновенно оповещены с помощью SMS, в которой будет указана и возможная причина вызова. Данная технология существенно сокращает время реакции на нештатную ситуацию, позволяет четко разграничивать ответственность. Внедрение такой технологии окупается достаточно быстро и дает вполне ощутимый экономический эффект.

Тот же «цифровой» киоск может помочь начальнику цеха в оперативном мониторинге использования оборудования. Так, «цифровой» киоск может в реальном времени отображать загрузку, режимы работы каждого станка в цеху различными способами: цветом, графиками, гистограммами (рис. 3).

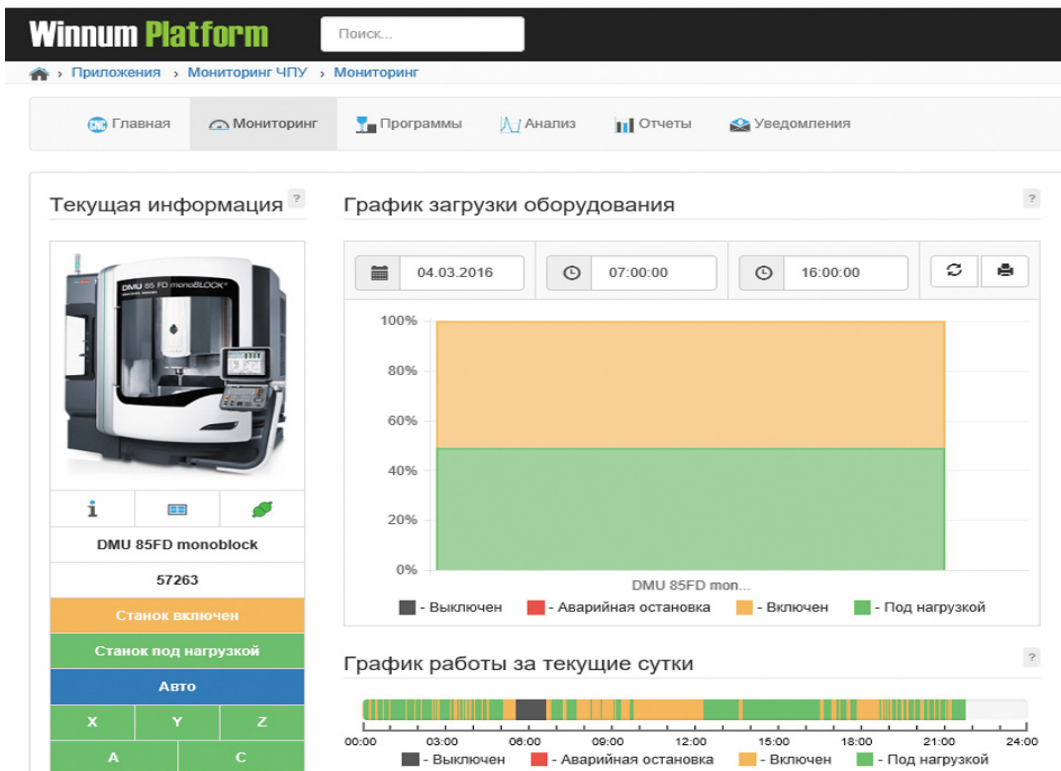


Рис. 3. Анализ загрузки оборудования

В результате внедрения подобной системы производственные мастера и руководство цехов получают возможность более эффективно осуществлять управленческий контроль: своевременно

получать информацию о загрузке рабочих конкретного участка, выполнении графика работ, появлении «узких мест» в производственной цепочке, выравнять загрузку оборудования и рабочих и оперативно устранять возникающие проблемы [5, 6].

«Личный кабинет» работника

Современный уровень развития IT-технологий позволяет цифровизировать многие процессы на производстве. Так, например, каждый рабочий может оценивать свою производительность и дневной заработок, просто пользуясь своим «личным кабинетом», доступ к которому может быть как через «цифровой» киоск, так и посредством планшета (рис. 4).



Рис. 4. «Личный кабинет» работника

Там же рабочий может в любой момент ознакомиться со своими производственными заданиями, их статусом, пройти инструктаж по технике безопасности, получить инструкции, актуальные схемы, чертежи и т.п.

Большие данные

Объем ежедневно генерируемой информации на предприятии в условиях Индустрии 4.0 ощутимо растет. Информация с датчиков, установленных на оборудовании, документация, чертежи в цифровом виде, данные о жизненном цикле продукции и т.п. – все это должно где-то храниться. Можно собирать и хранить ее на собственных серверах, а можно хранить ее в облаке какой-нибудь крупной IT-компании.

Выгоды хранения в облаке связаны, во-первых, с более низкой стоимостью хранения информации, во-вторых – с доступом к огромным вычислительным мощностям IT-компаний для обработки этого огромного массива больших данных с целью получения новых знаний, которые могут быть полезны для совершенствования продукции, нахождения новых рынков сбыта, повышения эффективности работы предприятия. Для получения такой бизнес-аналитики уже широко используется искусственный интеллект.

Панель мониторинга (dashboard) для руководителей

Результаты анализа больших данных можно вывести на панель мониторинга (dashboard) – приложение, которое помогает руководителям отслеживать ключевые показатели работы компании и ее отделов. Данные автоматически обобщаются, структурируются и выводятся на интерактивную панель мониторинга в виде графиков, диаграмм, схем и других визуальных образов (рис. 5).

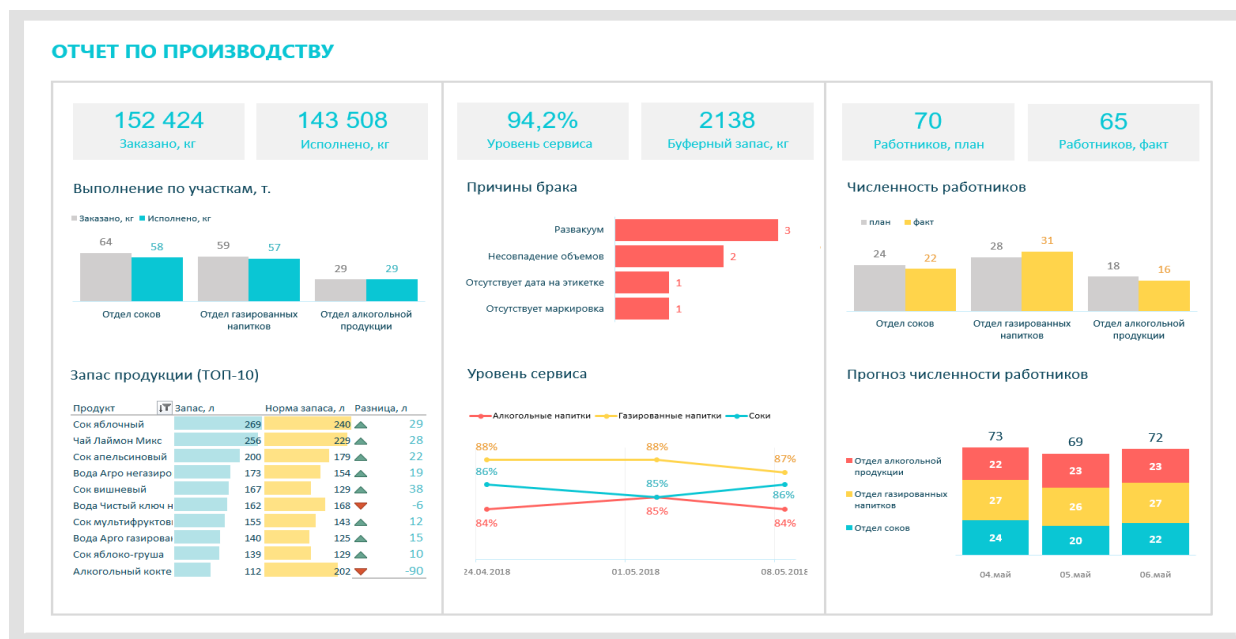


Рис. 5. Пример панели мониторинга (дашборда)

Промышленный интернет

Одним из элементов Индустрии 4.0 является промышленный интернет. Чтобы связать стационарно установленное промышленное оборудование с сервером, его часто подключают к локальной сети предприятия. Для подвижных объектов, наподобие мобильных роботов и транспортеров, используются беспроводные протоколы передачи данных. Фактически промышленный интернет – это обычный интернет, но с протоколами передачи информации, более стойкими к взломам и электромагнитным помехам, которые могут возникать на производстве. Использование технологий радиочастотной идентификации (RFID) позволяет быстро находить детали, продукцию, инструмент и даже работников, что также существенно повышает эффективность производства [7].

Межмашинное взаимодействие

С развитием сетей и технологий у беспроводной связи появилась новая область применения – коммуникации между машинами Machine-to-Machine (M2M). Речь идет о технологиях, то есть о передаче данных от оборудования с целью мониторинга и управления удаленными объектами.

Области применения данной технологии на производстве расширяются в геометрической прогрессии: это мониторинг подвижных объектов, системы безопасности, промышленная телеметрия. M2M дает очевидные преимущества: возможность мониторинга и управления удаленными объектами, до которых невыгодно прокладывать проводную связь; возможность оперативно и достаточно просто подключать новые устройства без дополнительных затрат; управление объектами там, где использование проводов невозможно в принципе – например для мониторинга ситуации на транспорте.

Межмашинное взаимодействие позволяет дистанционно следить за производственными процессами, в любой критической ситуации вмешиваться и вносить коррективы. Межмашинное взаимодействие помогает устранить посредника в виде человека при передаче информации от машины к машине, минимизировав тем самым влияние человеческого фактора.

Интернет вещей (IoT – Internet of Things) и мобильная связь 5G

Рост количества пользователей и устройств, подключенных к Интернету, количества передаваемой информации, достижения науки и техники в области передачи данных привели к появлению такого феномена, как мобильная связь 5G. В мобильной связи пятого поколения будет преодолен основной недостаток стандартов мобильной связи предыдущих поколений – большая задержка сигнала.

Снижение задержки сигнала до величины менее 1 миллисекунды позволит управлять беспилотными автомобилями, движущимися на большой скорости, проводить удаленные медицинские операции в реальном времени, проводить наглядное обучение через VR-трансляцию процесса с точки зрения мастера, а также повысит быстродействие промышленных роботов. Для промышленности также важно, что стандарт 5G будет являться универсальным для подключения любого оборудования.

Цифровой двойник

Цифровой двойник – это виртуальная модель существующего в реальности предмета: детали, устройства или технологического процесса. После использования цифровой модели при разработке нового изделия она не отбрасывается, а используется в связке с физическим объектом на протяжении всего жизненного цикла: на этапе тестирования, доработки, эксплуатации и утилизации. На физический объект устанавливают датчики, которые собирают данные о состоянии объекта в реальном времени, после чего эти сведения отправляются цифровому двойнику. На основе полученных данных уточняется цифровая модель, которая в свою очередь дает рекомендации по оптимизации режима эксплуатации и обслуживания реального объекта.

Цифровой двойник, как правило, находится в облаке. Для построения цифрового двойника могут применяться различные инструменты (рис. 6). Цифровой двойник помогает прогнозировать поведение реального объекта. Возможен мониторинг и тестирование целого парка объектов и проведение анализа на основе агрегированных данных. Если в цифровых двойниках задействованы технологии машинного обучения, то они становятся самообучающимися системами.



Рис. 6. Перечень технологий, лежащих в основе концепции «Цифровые двойники» [8]

Идея цифрового двойника подразумевает сбор данных не только для изучения в реальном времени, но и использования их в дальнейшем для разработки более эффективных и производительных проектов, устранения проблем с проектированием на ранних этапах разработок, обеспечения необходимой информацией инновационных разработок, обучения сотрудников в виртуальной реальности, подготовки к работе с реальной моделью, повышения качества продукции, снижения затрат на испытания изделия. Еще одно преимущество цифрового двойника – это возможность получать данные практически непрерывно, причем из любой точки мира, а значит, доступ к информации есть у всех участников подобных процессов.

Пример использования цифрового двойника – проект по оптимизации производительности ветроэнергетической установки, на каждой расположено от 15 до 50 ветровых турбин. Требовалось оптимизировать выработку всей фермы в целом. Каждая из этих турбин имела цифрового двойника,

который позволял простым поворотом регуляторов избежать перегрузки отдельной генерирующей турбины и тщательно распределять нагрузку по всему семейству ветротурбин [8].

От четвертой промышленной революции к пятой

Индустрия 4.0 интегрирует в себе все последние достижения в сфере организации эффективного производства (информатизацию, бережливое производство), при этом максимизируя синергетический эффект и минимизируя влияние человеческого фактора. Главная роль человека в Индустрии 4.0 заключается в разработке алгоритмов и обучении машин методом программирования. Индустрия 5.0 будет базироваться на самообучении машин, копировании действий человека и автоматической оптимизации алгоритмов производства.

Для автоматизации производства необходимо будет всего лишь с помощью 3D-сканера сканировать внутреннее пространство производственных помещений и снять все действия рабочих на обычную видеокамеру. Полученная информация загружается в специализированное ПО, которое строит модель производства, рассчитывая и оптимизируя производственные операции, обеспечивая их эффективное взаимодействие.

Уже сейчас роботы умеют усваивать сложные хватательные движения и манипуляции, необходимые для приготовления пищи, просматривая видео. В конечном итоге ученые планируют создать технологию, которая позволит роботам понимать людей и взаимодействовать, то есть вместо копирования движений роботы будут копировать цели [9].

Возможность самообучения роботов с автоматической оптимизацией действий открывает возможность изменять вид производимого изделия без существенных изменений производственной линии и дополнительных капиталовложений.

Библиографический список

1. Джонс Дэниел, Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джонс Дэниел Т., Вумек Джеймс П. М.: Альпина Пабlishер, 2013. 472 с.
2. Индустрия 4.0: датчики ST предсказывают неисправности промышленного оборудования. URL: <https://www.compel.ru/lib/ne/2018/12/2-industriya-4-0-datchiki-st-predskazyivayut-neispravnosti-promyshlennogo-oborudovaniya> (дата обращения: 10.03.2019).
3. Каллан, Р. Нейронные сети. Краткий справочник / Роберт Каллан. М.: Вильямс, 2017. 288 с.
4. Winnum – платформа для промышленного интернета вещей. URL: <http://winnum.ru/> (дата обращения: 10.03.2019).
5. Индустрия 4.0: Что такое четвертая промышленная революция? URL: <https://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0-cto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyuciya.html> (дата обращения: 29.05.2019).
6. Цифровое предприятие. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровое_предприятие (дата обращения: 13.04.2019).
7. Рот, А. Внедрение и развитие Индустрии 4.0. Основы, моделирование и примеры из практики / Алан Рот. М.: Техносфера, 2017. 294 с.
8. Цифровые двойники: новый способ управления данными. URL: http://data.cnews.ru/articles/2018-11-21_tsifrovye_dvojniki_novyj_sposob_upravleniya_dannymi (дата обращения: 10.03.2019).
9. Модернизация производства в стиле Индустрия 5.0. URL: <http://www.plm.pw/2015/12/Industry-5-0.html> (дата обращения: 10.03.2019).

УДК 628.477.6:678.5

О. С. Громова

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

Я. А. Щеников

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ТЕХНОЛОГИИ СБОРА МУСОРА С ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ

Пластик в виде мусора, особенно в больших количествах, является проблемой для окружающей среды, в частности для гидросферы. По данным Гринпис, ежегодно в мире производится более 100 млн т пластиковых изделий и 10% из них в конце концов попадает в мировой океан. Оказываясь в воде, пластик разлагается очень медленно, выделяя вредные для морской флоры и фауны вещества, постепенно расщепляясь на все более мелкие частицы – микропластик. Согласно исследованию Гринпис, морской мусор наносит урон как минимум 267 биологическим видам со всего мира [1].

Несмотря на постоянно ужесточающееся законодательство в сфере защиты окружающей среды, эксперты отмечают, что в Мировом океане на сегодняшний день накопилось порядка 5 млрд т пластикового мусора. Все эти отходы формируются в огромные плавучие острова, так называемые мусорные пятна.

В Мировом океане существует несколько областей, в которых мусор океанскими течениями закручивается в гигантские мусорные водовороты (gyres): северный атлантический водоворот, южный атлантический водоворот, водоворот в индийском океане, северный тихоокеанский водоворот, южный тихоокеанский водоворот (рис. 1, а). Самым большим мусорным водоворотом является северный тихоокеанский водоворот, расположенный между Гавайями и Калифорнией. В настоящее время его площадь соизмерима с площадью Франции.

Мусорные водовороты трудно разглядеть со спутника, самолета и даже с лодки, потому что мелкие частицы пластика плавают под поверхностью, но если взять пробы воды, видно, что океан похож на «пластиковый суп», как его назвал первооткрыватель северного тихоокеанского мусорного пятна Чарльз Мур (рис. 1, б).

В результате совместной экспедиции Чарльза Мура и группы ученых из Института морских исследований Алгалита удалось выяснить, что на 1 км² мусорного пятна приходится порядка 335 000 кусочков пластика, а во многих местах концентрация пластика превышает концентрацию зоопланктона в семь раз. Около 94% пластика, который попадает в океан, оказывается на дне. В настоящее время в среднем на 1 км² дна мирового океана приходится около 70 кг пластика [2]. Вот почему очень важно собрать и утилизировать как можно больше пластика, прежде чем он образует токсичный ковер на дне океана.



Рис. 1. Крупные мусорные пятна мирового океана (а),
Чарльз Мур и его «пластиковый суп» (б)

Системы фильтрации и сбора мусора с поверхности воды

Seabin – система фильтрации воды и сбора мусора в портах или в спокойных водоемах [3]. Представляет собой несложное устройство, которое засасывает воду с поверхности и, пропуская ее через себя, аккумулирует мусор в мешок (рис. 2).

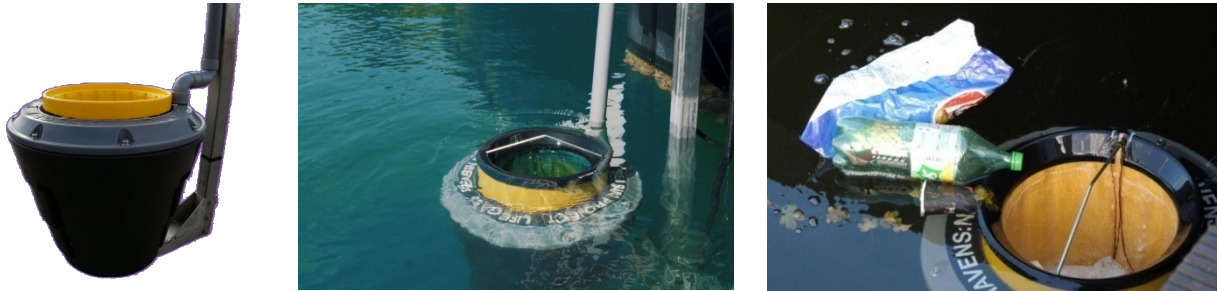


Рис. 2. Система фильтрации воды и сбора мусора Seabin

Роботы-чистильщики

Робот-чистильщик Marine Drone (рис. 3, а) использует датчики, чтобы находить мусор [4]. Мощные батареи позволяют устройству находиться и работать в воде более двух недель, после чего робота необходимо достать, почистить и подзарядить. Для отпугивания рыбы робот оборудован инфразвуковой системой.

Робот-чистильщик AquaMorris (рис. 3, б) инженера-изобретателя Владимира Сухорукова оснащен манипулятором и большим количеством разнообразных сенсоров и датчиков, чтобы эффективно ориентироваться в пространстве, обходить береговую линию и не допускать столкновений с разнообразными препятствиями [5]. Робот проходил испытания в долине речки Цна, где осуществлял сбор мусора в специальный контейнер, используя захват манипулятора.



а



б

Рис. 3. Робот-чистильщик Marine Drone (а) и робот-чистильщик AquaMorris Владимира Сухорукова (б)

Робот-чистильщик Waste Shark, созданный голландской компанией RanMarine, тестируется в порту Роттердама [6]. Робот представляет собой небольшой катамаран с отверстием-ковшом для сбора мусора между понтонами и электрической батареей в качестве источника питания (рис. 4, а). Waste Shark собирает мусор с поверхности гавани и отправляет его во внутренний накопитель, откуда он может быть удален по окончании работы. В будущем планируется создать увеличенную версию робота-чистильщика, снабженную солнечными батареями, а также сенсорами и видеочкамерой, чтобы избежать столкновений с судами в гавани. Great Waste Shark будет иметь возможность собирать до 500 кг мусора за один рейс (рис. 4, б).



а



б

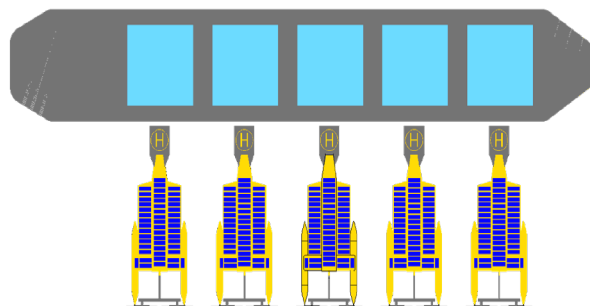
Рис. 4. Действующий образец робота-чистильщика Waste Shark (а) и проект робота-чистильщика Great Waste Shark (б)

На рис. 5, а представлен один из прототипов океанского робота-чистильщика Sea Vax. Реализованный в натуральном масштабе, это будет тримаран длиной 44 м, оборудованный водозаборником 13,5-метровой ширины. Две ветряные турбины и солнечные панели будут снабжать насосы и фильтры на борту Sea Vax. Фильтры предотвращают попадание пластика в насосы, которые автоматически отключаются в случае обнаружения датчиком морских организмов в фильтрах.

Морская вода с мусором попадает в регулируемый по глубине водозаборник Sea Vax, где шредер измельчает мусор. Затем насосы транспортируют отходы в фильтр, а оттуда – в зону хранения в задней части Sea Vax. Практически чистая морская вода будет возвращаться в океан. Целый флот судов Sea Vax будет работать почти непрерывно, собирая мусор, а флот «солнечных» барж, движимых солнечной энергией, будет забирать с них мусор и доставлять его на берег, где заводы будут заниматься его переработкой и утилизацией (рис. 5, б).



а



б

Рис. 5. Действующий прототип робота-чистильщика Sea Vax (а) и «солнечная» баржа для сбора мусора с Sea Vax и доставки его на берег (б)

Конструкция в виде тримарана обеспечивает лучшую устойчивость Sea Vax, а датчики погоды своевременно предупредят о надвигающейся буре, при приближении которой Sea Vax сложит свои солнечные батареи и свернет турбины, сохраняя направление на волны, чтобы свести к минимуму сопротивление ветру.

Комбайны для сбора мусора с поверхности воды

Комбайн Aquamarine предназначен для удаления водорослей и плавающего мусора с прибрежной морской поверхности, а также с поверхности водохранилищ, рек и озер (рис. 6, а) [8]. На рис. 6, б представлен комбайн аналогичного назначения от китайских производителей.



а



б

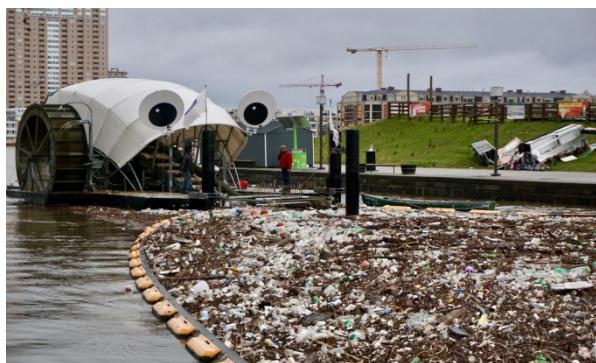
Рис. 6. Комбайн Aquatrane для сбора водорослей и мусора с поверхности воды (а), комбайн китайского производства (б)

Проекты, использующие боновые заграждения

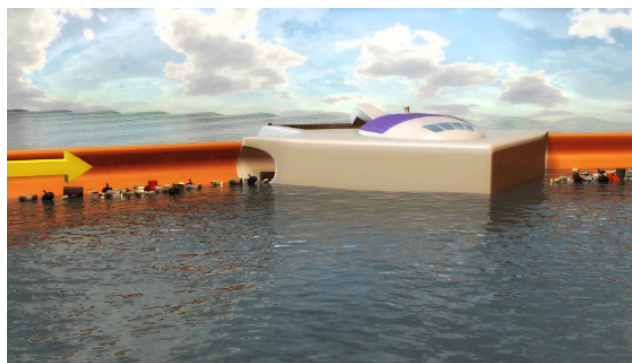
Механизмы сбора мусора судна Mr. Trash Wheel приводятся в движение речным потоком [9]. Если поток слаб, то подключается колесо, которое питается от солнечных батарей. Судно было специально разработано для очищения рек от мусора. С 2014 г., помимо другого мусора, с его помощью было собрано свыше 9 млн сигаретных окурков и 500 тыс. пластиковых бутылок и коробок. Mr. Trash Wheel не автоматизирован, и для его обслуживания требуется команда людей (рис. 7, а).

Проект Ocean Cleanup – это установка, состоящая из плавучих бонов и мусороперерабатывающей платформы. Планируется, что установка будет находиться в океане на якоре, а движимый водными течениями мусор будет задерживаться протяженными заграждениями и утилизироваться, при этом мелкие животные и рыба будут отделяться и выпускаться обратно. В планах авторов запуск в Тихом океане очистительной платформы длиной почти 100 км на полную мощность к 2020 г. (рис. 7, б).

Планируется, что энергию установка будет черпать из солнечных батарей и устройств, преобразующих энергию волн и течений. Были проведены расчеты коммерческой эффективности проекта, которые показали, что она будет достаточно высока [10].



а



б

Рис. 7. Проект Mr. Trash Wheel (а), проект бонового барьера Ocean Cleanup (б)

Пока нереализованные проекты сборщиков мусора

Проект Ocean Phoenix французской компании SAS Ocean Phoenix для сбора мусора в океане изображен на рис. 8, а. Размеры судна Ocean Phoenix впечатляют: 360 м в длину и 115 м в ширину (размер двух супертанкеров бок о бок). Ocean Phoenix способен утилизировать любой морской мусор: от транспортных контейнеров и огромных бревен до пластиковых отходов и микропластика. Обработывая объем замусоренной воды со скоростью 16 500 м³ в секунду, Ocean Phoenix имеет в 2,8 раза большую производительность, чем Ниагарский водопад в свой пиковый сезон [11].

Еще один французский проект – Manta Sea Cleaners – солидных размеров (70 × 49 × 61 м) катамаран, приводимый в движение либо парусами, либо электрическими двигателями, питаемыми от солнечных батарей общей площадью 2000 м² (рис. 8, б). Судно способно хранить на своем борту до 250 т мусора, упакованного в 1 м³ пакеты, которые затем доставляет на берег для переработки. Судно способно работать как недалеко от берега, так и в открытом море. В процессе сбора мусора Manta будет развивать скорость около 2 узлов, что вместе с системой создания шума позволит отпугнуть китообразных и других морских обитателей [12].

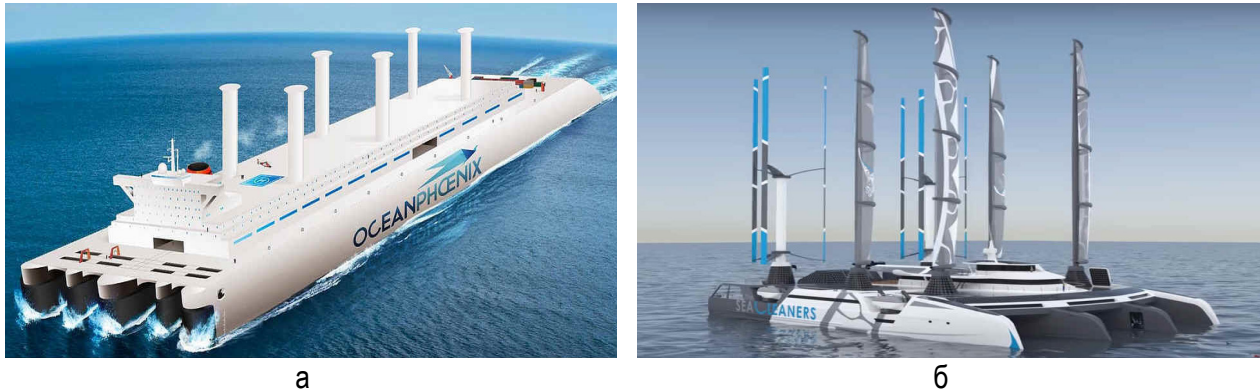


Рис. 8. Проекты Ocean Phoenix (а) и Manta Sea Cleaners (б)

Обоснование возможности утилизации микропластика с приповерхностного слоя Мирового океана

Небольшие по размеру частицы пластика размером в несколько миллиметров многочисленны, широко распространены и концентрируются вблизи поверхности Мирового океана. Концентрация пластика максимальна на поверхности воды и снижается по закону близкому к экспоненциальному с увеличением глубины (рис. 9). Более того, мелкие частицы пластика при активном перемешивании приповерхностного слоя воды, которое возникает при сильном ветре, имеют тенденцию к всплыванию в приповерхностный слой [13].

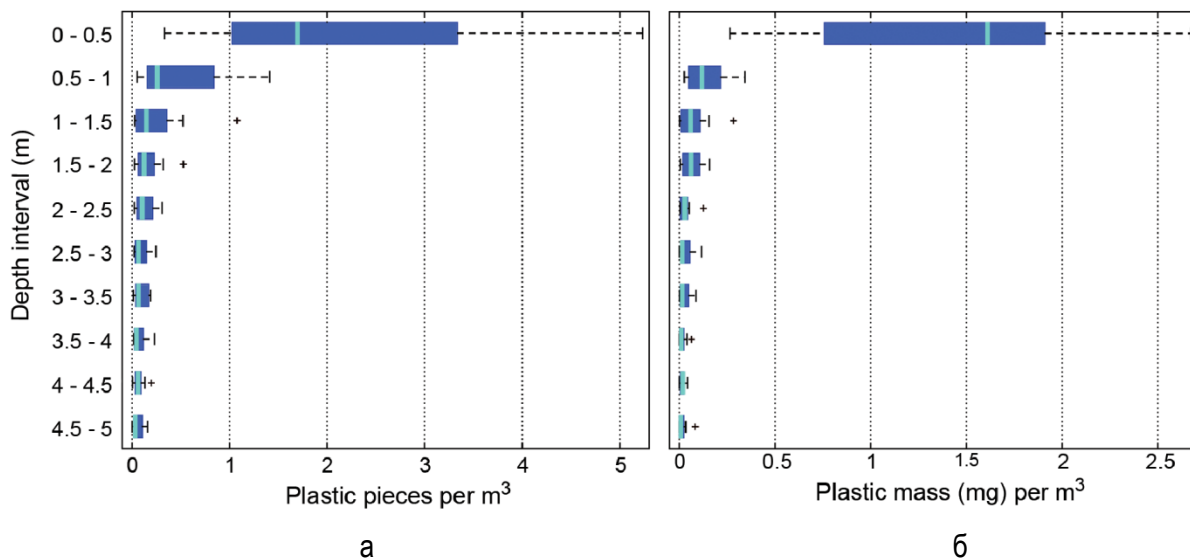


Рис. 9. Количество частиц пластика на 1 м³ приповерхностного слоя воды на различных глубинах (а) и концентрация пластика мг/м³ на различных глубинах (б). Измерения проводились в районе северного атлантического мусорного водоворота

Многие проекты ориентированы на сбор мусора в районах мусорных пятен. Не менее важно собирать и утилизировать мусор в месте его возникновения: реках, устьях, гаванях. Очевидно, что

проблема загрязнения гидросферы должна решаться комплексно: как с применением простых, но эффективных сборщиков типа Mr. Trash Wheel, расположенных в устьях рек, так и с активным удалением мусорных пятен с помощью высокотехнологичных проектов типа Sea Vax, Ocean Cleanup и Ocean Phoenix.

Библиографический список

1. Plastic Debris in the World's ocean. URL: www.greenpeace.org/archive-international/Global/international/planet-2/report/2007/8/plastic_ocean_report.pdf (дата обращения: 17.02.2019).
2. Загрязнение океана пластиком. URL: musorish.ru/zagryaznenie-okeana-plastikom (дата обращения: 10.02.2019).
3. Project SeaBin. URL: seabinproject.com (дата обращения: 12.02.2019).
4. Marine Drone Concept Collects Plastic Waste To Clean The Ocean. URL: www.tuvie.com/marine-drone-concept-collects-plastic-waste-to-clean-the-ocean (дата обращения: 10.01.2019).
5. Необычные технологии уборки мусора испытывают в Тамбове. URL: sc-os.ru/technologies/1984-neobychnye-tehnologii-uborki-musora-ispytyvayut-v-tambove.html (дата обращения: 06.02.2019).
6. Waste Shark: this 'Shark' Eats Plastic. URL: www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/waste-shark-this-shark-eats-plastic (дата обращения: 13.02.2019).
7. SeaVax – Robotic Vacuum Ship. URL: www.bluebird-electric.net/oceanography/Ocean_Plastic_International_Rescue/SeaVax_Ocean_Clean_Up_Robot_Drone_Ship_Sea_Vacuum.htm (дата обращения: 28.02.2019).
8. Комбайн для очистки водоемов от водорослей и плавающего мусора Aquamarine H5-200. URL: broddway.ru/tehnika/aquamarine-n5-200 (дата обращения: 27.02.2019).
9. Trash WheelProject. URL: www.baltimorewaterfront.com/healthy-harbor/water-wheel (дата обращения: 01.03.2019).
10. The Ocean Cleanup. URL: www.theoceancleanup.com (дата обращения: 20.02.2019).
11. Ocean Phoenix Project. URL: www.oceanphoenixproject.com (дата обращения: 24.02.2019).
12. The Sea Cleaners. URL: www.theseacleaners.org (дата обращения: 24.02.2019).
13. The Vertical Distribution of Buoyant Plastics at Sea: an Observational Study in the North Atlantic Gyre / J. Reisser [et al.]. *Biogeosciences*. 2015. No 12. P. 1249–1256.

УДК 67.02

Е. М. Данилова

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

Я. А. Щеников

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ 4D-ПЕЧАТИ

Инновационная технология 4D-печати включает в себя создание физических объектов из композитных материалов, которые в процессе их 3D-печати программируются на изменение формы при воздействии на них различных факторов. Напечатанный 4D-объект изменяет свою форму в течение времени, т.е. именно время является четвертым измерением, отсюда и название – 4D-печать.

4D-объекты запрограммированы изменять свою форму (расширяться, сгибаться и даже скручиваться в определенных местах) при воздействии давления, влажности, температуры, магнитного поля, поверхностных сил и т.п., что становится возможным благодаря применению материалов, реагирующих на эти факторы. Целью подобных трансформаций является, например, самосборка исходного плоского объекта в объемную конструкцию.

Технология гидрогелевой 4D-печати

Один из первых концептов 4D-объекта в 2014 г. представил Скайлар Тиббитс из MIT. Это была технология 4D-печати для создания самостоятельно собирающихся (в течение времени) объектов. В одном из концептов Скайлара распечатанная на принтере плоская развертка куба самостоятельно собирается в объемный куб. Пластина напечатана на 3D-принтере из двух слоев – пластика и адсорбента (поглотителя воды, который запрограммирован приложением AutodeskCyborg) и сворачивается под определенным углом при впитывании воды. Материал-адсорбент приводит в движение и пластик, изгибая или скручивая его и формируя каркас новой фигуры (рис. 1).

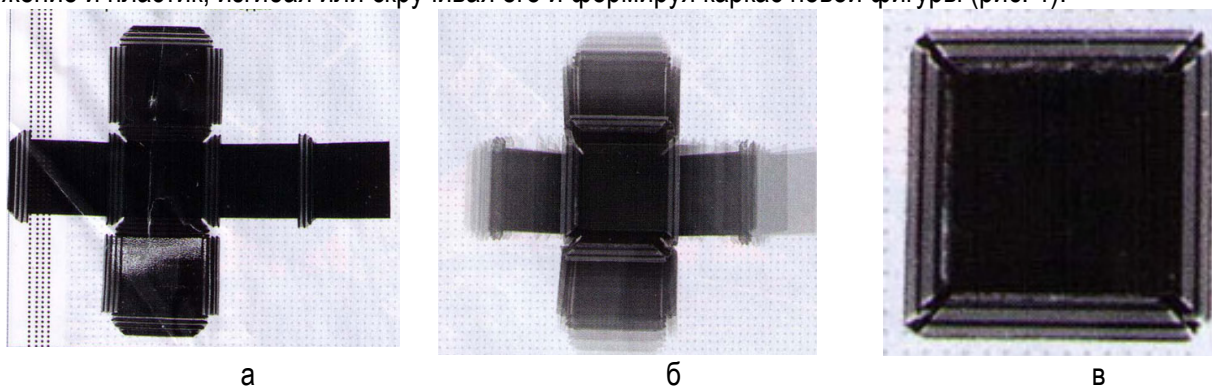


Рис. 1. Самособирающийся куб Скайлара Тиббитса – пластина, которая сворачивается в куб: исходное состояние (а), в процессе самосборки (б), самостоятельно сложившийся куб (в)

В основе технологии гидрогелевой 4D-печати лежат гидрогели, интегрированные с полимером или нитью. При погружении 4D-объекта в растворитель гидрогель разбухает, создавая разность механических напряжений между двумя материалами, что приводит к изменению формы 4D-объекта. Преимущество технологии заключается в отсутствии необходимости программирования объекта после его 3D-печати.

Другой материал для гидрогелевой 4D-печати – это разработанные группой под руководством Дженнифер Льюис гелевые чернила, использующиеся для печати 4D-объектов и содержащие волокна целлюлозы. В частности, группа разработала вещество для печати, которое может имитировать способность растений реагировать на осадки и солнечный свет. Льюис и ее команда научились регулировать уровень разбухания в воде, до которого может прийти какой-либо 4D-объект, методом выравнивания волокон целлюлозы. Во время выравнивания ячеек 3D-принтер кодирует гид-

рогелевые чернила для достижения требуемой анизотропной жесткости и набухания. Это анизотропное свойство целлюлозы позволяет точно предсказать, как 4D-объект изменит свою форму под воздействием воды. Для этого ученые разработали точную математическую модель, позволяющую им программировать и настраивать печать [1].

Технология внедрения полимерных нитей

Группа ученых из Колорадского университета под руководством Х. Джерри Ки придумала 4D-технологию печати, в которой в нужных ключевых местах 4D-объекта используются полимерные нити, обладающие памятью формы. 4D-эффект достигается благодаря введению определенных полимерных волокон прямо в композитный материал при обычной трехмерной печати [2]. Благодаря грамотному выбору места расположения этих нитей объект можно наделять способностью спустя заданное время скручиваться, растягиваться или скомкиваться при воздействии на него ряда факторов: воды, тепла или механического давления.

Технологии 4D-печати с использованием полимеров с памятью формы

Полимеры с памятью формы SMPs (*Shape-memory polymers*) – это целое семейство материалов, обладающих способностью изменять свою форму при изменении температуры. Эти полимеры являются недорогим аналогом сплавов с памятью формы, например нитинола.

Традиционная технология 4D-печати с использованием полимеров с памятью формы требует нескольких технологических операций (рис. 2, A):

- синтез/обработка с помощью 3D-печати;
- термомеханическое программирование, включая нагрев, механическую нагрузку, охлаждение и снятие нагрузки;
- развертывание/приведение в действие.

Термомеханические программирования часто требуют специальных приспособлений для применения механических нагрузок при точном контроле тепловых режимов, поэтому более привлекательным подходом в совершенствовании традиционной технологии 4D-печати на основе SMPs стало устранение механической нагрузки, что легко достигается с помощью 3D-печати с включением запрограммированных 3D-конфигураций (рис. 2, B).

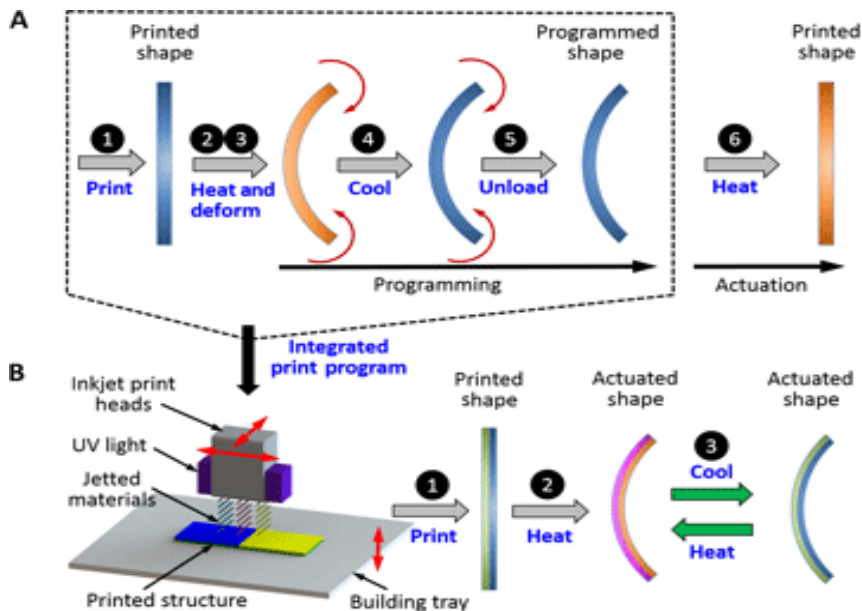


Рис. 2. Традиционная технология 4D-печати с использованием SMPs требует пяти шагов для достижения запрограммированной формы (A). Усовершенствованная технология прямой 4D-печати использует возможности контролируемой 3D-печати многосоставных смесей и интегрирует пять шагов в один (B)

На рис. 3 показана полоска с рисунком из эластомера и SMP, которые чередуются по длине с определенным периодом для достижения волнистой формы при нагреве. Композитная архитектура представляет собой сочетание SMP (более светлый цвет на рис. 3) и эластомера (резина) (более темный цвет на рис. 3).

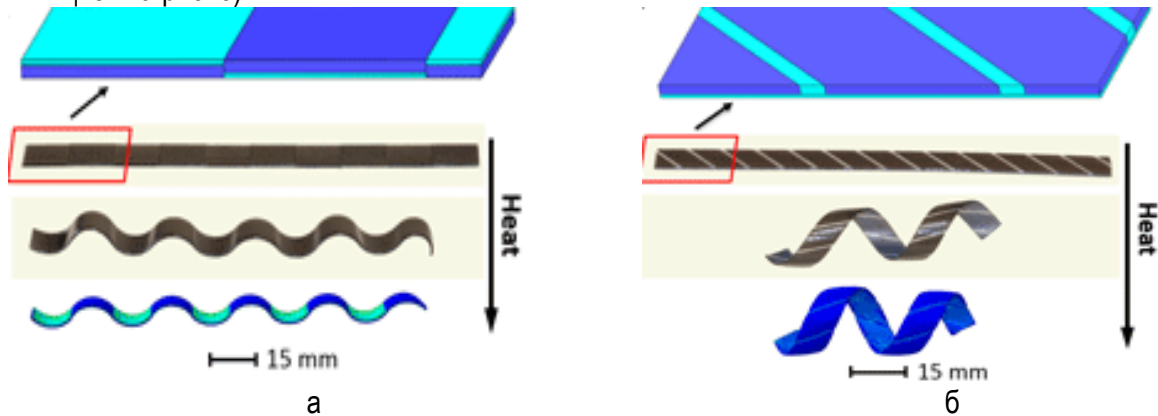


Рис. 3. Технология прямой 4D-печати конструктивных элементов: плоская печатная полоса, которая превращается в волнистую структуру (а); плоская печатная полоса, которая превращается в спираль (б)

На рис. 4 показана конфигурация решетки, которая спроектирована и напечатана в компактной форме. При нагревании решетка заметно деформируется со структурным расширением ~900% и боковым сокращением ~15%.

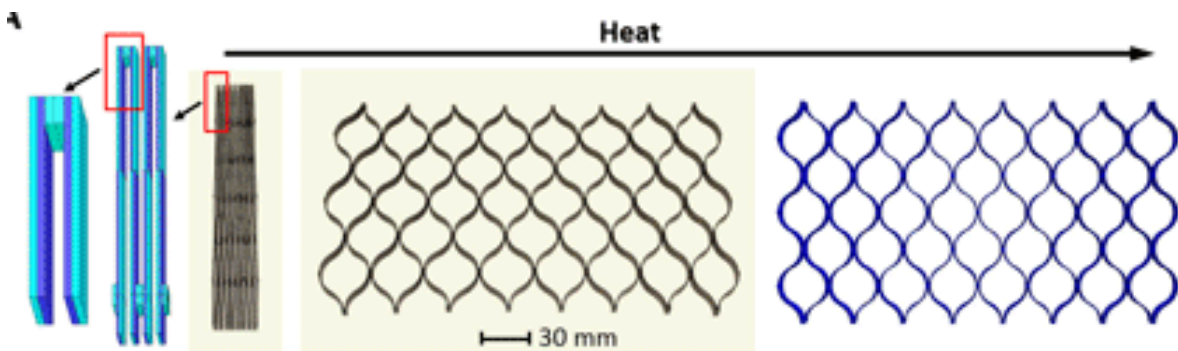


Рис. 4. Технология прямой печати 4D-объектов, состоящих из множества структурных элементов

Технология прямой печати 4D-объектов проста, быстра и экономична для печати, так как требует меньшего количества движений каретки 3D-принтера, минимального количества материала поддержки. Например, печать структуры, изображенной на рис. 5, непосредственно в конфигурации 3D-купола потребует примерно в восемь раз больше времени и в восемь раз больше материала поддержки по сравнению с плоской 2D-конфигурацией при печати [3].

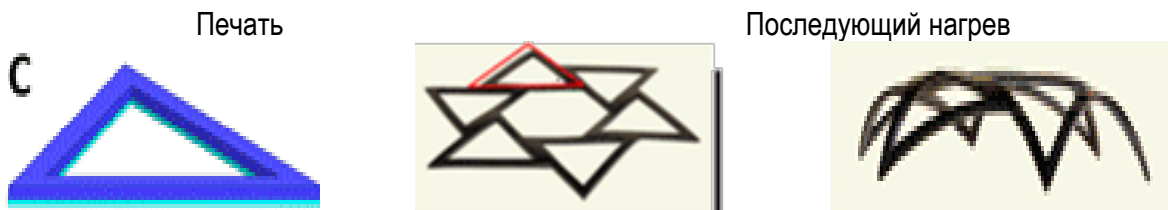


Рис. 5. Технология прямой печати 4D-объектов позволяет существенно сократить время печати и количество материала поддержки

Большинство традиционных SMPs могут принимать только постоянную и временную форму, однако последние технологические достижения позволили внедрить материалы с тройной памятью формы. 4D-объект из такого материала может с помощью нагрева приобретать новую форму, а затем, при охлаждении, оставаться сколь угодно долго в этой новой форме, используя память формы SMP [3].

Технология проекционной микростереолитографии

Ученые Сингапурского университета технологии и дизайна, MIT и Технологического института Джорджии разработали метод проекционной микростереолитографии, позволяющий создавать объекты из материалов с памятью формы.

Метод похож на известную технологию жидкостной 3D-печати с отверждением светом (DLP), но в качестве источника света здесь используется проектор с ультрафиолетовыми светодиодами. В рабочую емкость принтера заливают раствор фоточувствительного полимера и проецируют слой за слоем срезы требуемого объекта. Каждый новый слой отверждается на предыдущем, в результате чего возникает трехмерный объект. Сливая один раствор полимера и заменяя его на другой, можно добиться печати из нескольких разных материалов (рис. 6, а). Для проверки работоспособности учеными был напечатан мягкий полимерный манипулятор – захват, который в свободном от деформаций состоянии закрыт. С его помощью ученые научились успешно захватывать небольшие предметы (рис. 6, б).

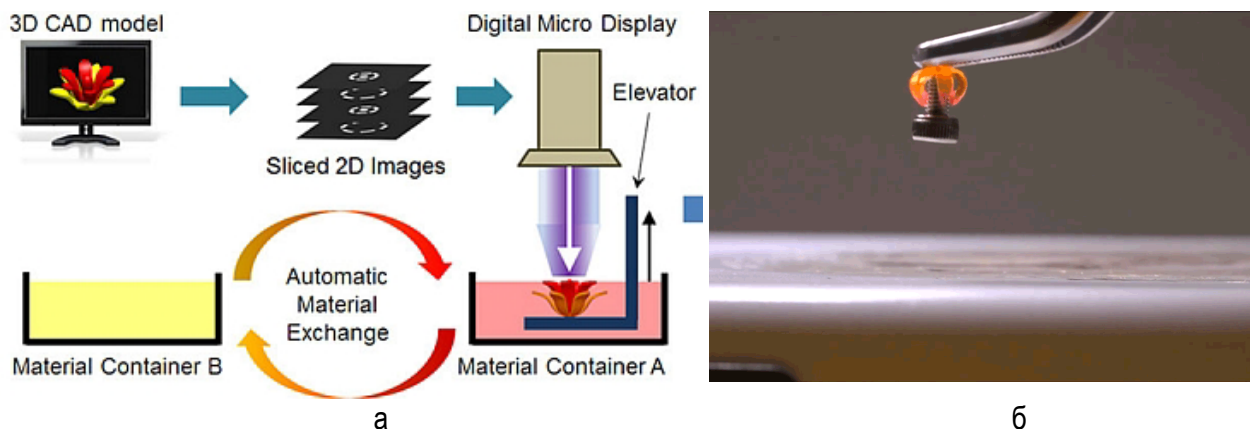


Рис. 6. Принцип работы технологии проекционной микростереолитографии (а); захват болта с помощью мягкого манипулятора (б)

Для этого мягкий манипулятор подносили к предмету и нагревали воздух вокруг него до температуры выше 40 °С. Температура восстановления формы материала лежит в интервале от 40 до 180 °С, а сам процесс занимает всего несколько секунд [4].

4D-керамика



Рис. 7. Образцы объектов из 4D-керамики

Китайские исследователи из Университета Гонконга разработали «керамические чернила» – смесь полимеров и керамических наночастиц. Детали, созданные из этих чернил, получаются мягкими и могут растягиваться, что позволяет производить прочные изделия, в том числе сложных форм (рис. 7).

Одним из перспективных направлений для применения новой технологии станут электронные устройства. Кроме того, инновация может быть применена в аэрокосмической промышленности, поскольку керамика – прочный материал, способный выдерживать высокие температуры [5].

Мультистабильные структуры

Для обеспечения точности трансформации 4D-объектов можно использовать структурную бистабильность или даже мультистабильность, позволяющую объекту принимать множественные, стабилизированные в пространстве формы. В таких структурах возможно переключение между двумя или более устойчивыми формами при прямом механическом воздействии (рис. 8, а). Так, например, бистабильная структура поддерживает два стабильных состояния (рис. 8, б). Бистабильные и мультистабильные структуры не нуждаются в дополнительной энергии для поддержания своего стабильного состояния и могут широко использоваться для различных приложений [6].

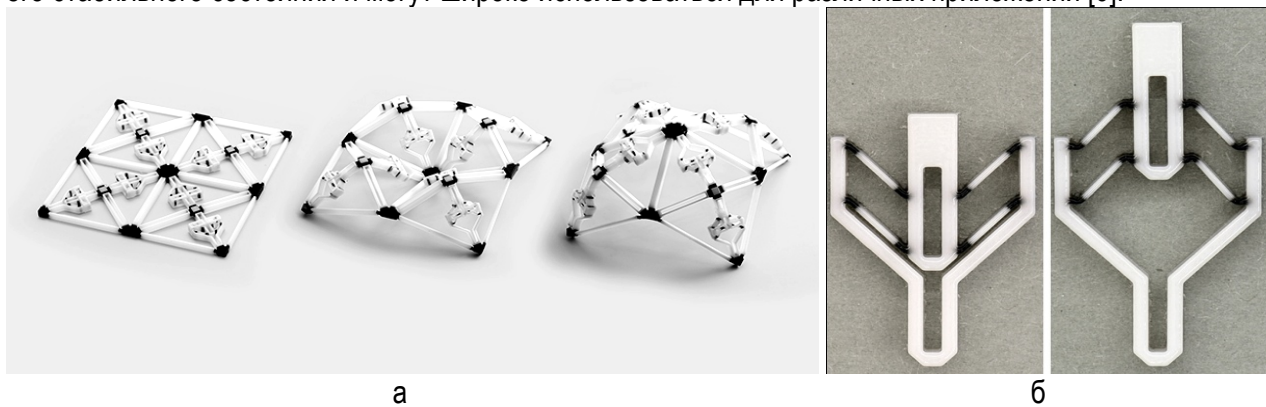


Рис. 8. Несущая конструкция с использованием мультистабильных элементов, которая разворачивается при повышении температуры (а); бистабильная структура в двух положениях, которая состоит из жесткого светлого и эластичного темного полимеров (б)

4D-объекты, реагирующие на изменение магнитного поля

Исследователи из MIT разработали чернила, содержащие магнитные частицы и реагирующие на воздействие магнитного поля. Благодаря установленному на сопле 3D-принтера электромагниту при печати эти частицы ориентируются в строго определенном направлении. В результате получается запрограммированный 4D-объект, способный быстро менять свою форму и даже двигаться при воздействии внешнего магнитного поля (рис. 9).



Рис. 9. 4D-объект, трансформирующийся под воздействием электромагнитного поля

Исследователи считают, что исследование имеет большие перспективы, прежде всего в биомедицине. В отличие от гидрогелей, у которых время отклика составляет от нескольких минут до часа, в магнитных чернилах изменения происходят практически мгновенно. Еще одним достоинством магнитных чернил является их биосовместимость и возможность дистанционного управления [7].

Технология скоростной жидкостной печати RLP (Rapid Liquid Printing)

Экспериментальная лаборатория MIT разработала технологию скоростной жидкостной печати для создания тонких гибких конструкций. В классическом 3D-принтере печать осуществляется слоями и ограничена специфическими условиями равномерного нагревания и вертикального расположения изделия, что сильно замедляет скорость печати. Разработанная 4D-технология RLP позволяет создавать масштабные объекты всего за несколько минут.

Сам процесс печати происходит внутри специального геля, что дает дизайнеру возможность рисовать модели в 3D без ограничений силы тяжести, без необходимости разрабатывать проекты по слоям, как при традиционных методах 3D-печати. RLP позволяет печатать объекты быстрее, в масштабах, которые позволяет область печати. Напечатанная конструкция затем отверждается с помощью химической реакции, происходящей при вступлении в контакт с гелем. Готовый объект может быть удален из геля без необходимости дополнительного отверждения. RLP уже работает с резиной, пеной, пластиком или любым другим промышленным жидким материалом [8].

Инженеры BMW в сотрудничестве с лабораторией MIT представили проект под названием Liquid Printed Pneumatics («жидкая печатная пневматика»). Помимо стремления компании сделать интерьер своих автомобилей более адаптивным и настраиваемым для владельца, речь также идет о том, чтобы конструкция транспортного средства становилась более гибкой или, наоборот, жесткой в зависимости от ситуации на дороге, чтобы минимизировать травмы людей, пострадавших в ДТП (рис. 10).

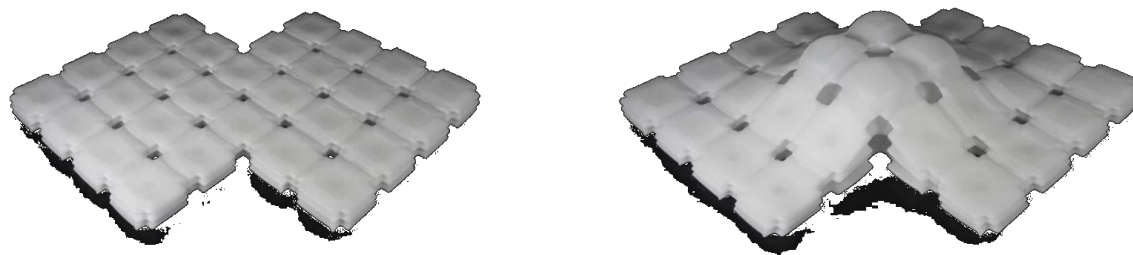


Рис. 10. Элемент интерьера, изготовленный с помощью технологии RLP, который обладает возможностью изменять свою жесткость

«Космическая ткань»

Лаборатория Jet Propulsion (JPL) создала технологию печати металлической «космической ткани», которая внешне напоминает серебристую кольчугу (рис. 11). Данную технологию можно отнести к 4D-технологиям, поскольку в процессе печати формируются и функциональные особенности ткани. Ткань складывается, обладает светоотражающей способностью, термостойкая и способна выдерживать большие нагрузки.

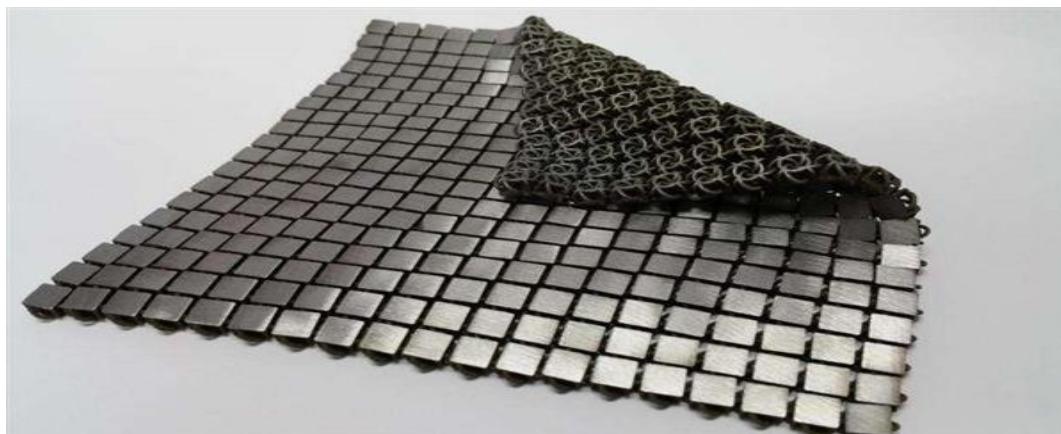


Рис. 11. Образец «космической ткани»

«Космическая ткань» может быть использована для производства космических костюмов, изоляционного покрытия и разворачиваемых модулей кораблей, например антенн [9].

Давно известны технологии применения биметаллических конструкций, сплавов с памятью формы, прессованных полотенца. Эти объекты также способны изменять свою форму при воздействии тепла или воды. Технология 4D-печати по сути является модификацией этих технологий, но уже с применением современных аддитивных технологий, новых материалов и математических моделей.

Библиографический список

1. 4D-принтер. URL: it-lenta.ru/4d-printer (дата обращения: 03.02.2019).
2. Технология 4D-печати поможет создавать умные материалы. URL: innovanews.ru/info/news/internet/12774 (дата обращения: 23.02.2019).
3. Представлена усовершенствованная методика 4D-печати. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/presents-an-improved-technique-of-4dprinting/> (дата обращения: 23.02.2019).
4. Исследователи MIT разрабатывают методику 3D-печати материалами с эффектом запоминания формы. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/researchers-at-mit-are-developing-a-method-of-3d-printing-materials-wi> (дата обращения: 02.03.2019).
5. Гонконгские ученые разработали технологию 4D-печати из керамики. URL: <http://www.3dpulse.ru/news/nauchnye-razrabotki-tehnologii/gonkongskie-uchenye-razrabotali-tehnologiyu-4d-pechati-iz-keramiki> (дата обращения: 27.02.2019).
6. Fabrication Technology in the Fourth Dimension. URL: <https://www.ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2017/05/fabrication-technology-in-the-fourth-dimension.html> (дата обращения: 20.02.2019).
7. Чернила, реагирующие на магнитное воздействие. URL: <http://3dmag.org/ru/blog/3d-printing/3225.html> (дата обращения: 20.02.2019).
8. 4D-принтер. Технология жидкостной печати RLP. URL: <http://can-you-help.me/lajfxak-tehnologiya-i-budushhee/4d-printer-tehnologiya-zhidkostnoj-pechati.html> (дата обращения: 05.03.2019).
9. «Космическая ткань» от NASA. URL: <http://3dmag.org/ru/blog/3d-printing/1854.html> (дата обращения: 19.02.2019).

УДК 629.735.33

М. Д. Григорьев

студент кафедры высшей математики

М. В. Макарова

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

КАЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ХИЩНИК – ЖЕРТВА»

В наши дни, как многие, возможно, знают, задачи экологии имеют первостепенное значение в жизни общества. Ученые заняты поиском общих закономерностей функционирования природных систем. Один из них – А. Д. Лотки, описавший модель взаимодействия различных популяций, связанных отношениями «хищник – жертва». Свой вклад в разработку этой модели внесли также В. Вольтерра и В. А. Костицин.

В настоящее время уравнения, описывающие взаимодействие популяций, называются уравнениями Лотки – Вольтерра.

Вообще, попытки математического моделирования динамики биологических популяций предпринимались достаточно давно. Одна из первых таких моделей была придумана Томасом Мальтусом:

$$\frac{dn}{dt} = \mu N.$$

Данная модель задается следующими параметрами:

N – численность популяции;

μ – разность между коэффициентами рождаемости и смертности.

Интегрируя это уравнение, получаем:

$$N(t) = N(0)e^{\mu t}, \text{ где } N(0) \text{ – численность популяции в момент } t = 0.$$

Эта модель достаточно проста и в некотором роде оторвана от реальности, потому что при $\mu > 0$ мы можем наблюдать бесконечный рост численности популяции, чего не может быть в условиях с ограниченными ресурсами.

Наиболее серьезное исследование моделей биологических сообществ, включающих в себя несколько популяций различных видов, провел другой математик – Вито Вольтерра, родоначальник современной математической экологии:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = N_1(\varepsilon_1 - \gamma_1 N_2) \\ \frac{dN_2}{dt} = N_2(\gamma_2 N_1 - \varepsilon_2) \end{cases},$$

где N_i – численность популяции; ε_i – коэффициенты естественного прироста (или смертности) популяции; γ_i – коэффициенты межвидового взаимодействия. В зависимости от выбора коэффициентов модель описывает либо борьбу видов за общий ресурс, либо взаимодействие типа «хищник – жертва», когда один вид является пищей для другого.

Рассмотрим модель трофического взаимодействия по типу «хищник – жертва», построенную В. Вольтерром. Пусть имеется система, состоящая из двух видов, из которых один поедает другой.

Рассмотрим случай, когда один из видов является хищником, а другой – жертвой, и будем считать, что хищник питается только жертвой. Примем следующую простую гипотезу:

$\varepsilon_1 - \gamma_1 N_2$ – коэффициент прироста жертвы;

$\gamma_2 N_1 - \varepsilon_2$ – коэффициент прироста хищника;

N_1 – численность популяции жертвы;

N_2 – численность популяции хищника;

ε_1 – коэффициент естественного прироста жертвы;

γ_1 – скорость потребления жертвы хищником;

ε_2 – коэффициент смертности хищника в отсутствие жертвы;

γ_2 – коэффициент «переработки» хищником биомассы жертвы в собственную биомассу.

Тогда динамика численности популяций в системе «хищник – жертва» будет описываться системой дифференциальных уравнений (2.1):

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = N_1(\varepsilon_1 - \gamma_1 N_2) \\ \frac{dN_2}{dt} = N_2(-\varepsilon_2 + \gamma_2 N_1) \end{cases}, \quad (2.1)$$

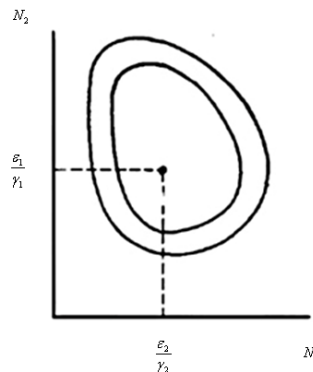
где все коэффициенты положительные и постоянные.

Модель имеет равновесное решение (2.2):

$$\begin{cases} N_1 = \frac{\varepsilon_2}{\gamma_2} \\ N_2 = \frac{\varepsilon_1}{\gamma_1} \end{cases}. \quad (2.2)$$

По модели (2.1) доля хищников в общей массе животных выражается формулой (2.3):

$$\frac{N_2}{N_1 + N_2} = \frac{\varepsilon_1/\gamma_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \gamma_1/\gamma_2}. \quad (2.3)$$



На рисунке изображен фазовый «портрет» классической вольтерровой системы «хищник – жертва». Как можно заметить, в ней присутствует особая «нейтрально» устойчивая точка, вокруг которой находятся замкнутые кривые – траектории системы.

Разделив первое уравнение системы (2.1) на второе, получим дифференциальное уравнение (2.4) для кривой на фазовой плоскости (N_1, N_2) :

$$\frac{dN_1}{dN_2} = \frac{N_1}{-\varepsilon_2 + \gamma_2 N_1} \frac{\varepsilon_1 - \gamma_1 N_2}{N_2}. \quad (2.4)$$

Интегрируя данное уравнение, получим:

$$N_1^{-\varepsilon_2} N_2^{-\varepsilon_1} e^{\gamma_2 N_1} e^{\gamma_1 N_2} = C, \quad (2.5)$$

где C – постоянная интегрирования, $C = \frac{N_1^{-\varepsilon_2} e^{\gamma_2 N_1}}{N_2^{\varepsilon_1} e^{-\gamma_1 N_2}}$.

Несложно показать, что движение точки по фазовой плоскости будет происходить только в одну сторону. Для этого удобно сделать замену функций N_1 и N_2 , перенеся начало координат на плоскости (N_1, N_2) в стационарную точку (2.2) и введя затем полярные координаты:

$$\begin{cases} N_1 = \frac{\varepsilon_2}{\gamma_2} (1 + \rho \cos \varphi) > 0 \\ N_2 = \frac{\varepsilon_1}{\gamma_1} (1 + \rho \sin \varphi) > 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

В таком случае, подставив значения системы (2.6) в систему (2.1), будем иметь:

$$\begin{cases} \frac{d\rho}{dt} \cos \varphi - \frac{d\varphi}{dt} (\sin \varphi) \rho = -\varepsilon_1 \rho \sin \varphi - \varepsilon_1 \rho^2 \sin \varphi \cos \varphi \\ \frac{d\rho}{dt} \sin \varphi + \frac{d\varphi}{dt} (\cos \varphi) \rho = \varepsilon_2 \rho \cos \varphi + \varepsilon_2 \rho^2 \sin \varphi \cos \varphi \end{cases} \quad (2.7)$$

Умножив первое уравнение на $\sin \varphi$, а второе – на $\cos \varphi$ и сложив их, получим:

$$\frac{d\rho}{dt} = \varepsilon_2 \cos^2 \varphi (1 + \rho \sin \varphi) + \varepsilon_1 \sin^2 \varphi (1 + \rho \cos \varphi). \quad (2.8)$$

После аналогичных алгебраических преобразований получим уравнение для ρ :

$$\frac{d\rho}{dt} = \sin \varphi (\cos \varphi) \rho (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) - \rho^2 \sin^2 \varphi (\varepsilon_1 \cos \varphi - \varepsilon_2 \sin \varphi). \quad (2.9)$$

Величина $\frac{d\varphi}{dt}$, как видно из (4.9), всегда больше нуля. Таким образом, $\frac{d\varphi}{dt}$ не меняет знака, и вращение все время идет в одну сторону.

Интегрируя (2.9), найдем период:

$$T = \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\varepsilon_2 \cos^2 \varphi (1 + \rho \sin \varphi) + \varepsilon_1 \sin^2 \varphi (1 + \rho \cos \varphi)}. \quad (2.10)$$

Когда ρ мало, то уравнения (2.8) и (2.9) переходят в уравнения эллипса. Период обращения в этом случае равен

$$T = \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\varepsilon_2 \cos^2 \varphi + \varepsilon_1 \sin^2 \varphi} = \frac{2\pi}{\sqrt{\varepsilon_1 \varepsilon_2}}. \quad (2.11)$$

Исходя из периодичности решений уравнений (2.1), можно получить некоторые следствия. Представим для этого (2.1) в виде

$$\begin{cases} \frac{d \lg N_1}{dt} = \varepsilon_1 - \gamma_1 N_2 \\ \frac{d \lg N_2}{dt} = -\varepsilon_2 - \gamma_2 N_1 \end{cases} \quad (2.12)$$

и проинтегрируем по периоду:

$$\begin{cases} d \lg N_1 \Big|_{t_0}^{t_0+T} = \varepsilon_1 T - \gamma_1 \int_{t_0}^{t_0+T} N_2 dt \\ d \lg N_2 \Big|_{t_0}^{t_0+T} = -\varepsilon_2 T + \gamma_2 \int_{t_0}^{t_0+T} N_1 dt \end{cases} \quad (2.13)$$

Так как подстановки от $\lg N_1$ и $\lg N_2$ в силу периодичности обращаются в нуль, средние по периоду оказываются равными стационарным состояниям (2.14):

$$\begin{cases} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} N_2 dt = \frac{\varepsilon_1}{Y_1} \\ \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} N_1 dt = \frac{\varepsilon_2}{Y_2} \end{cases} \quad (2.14)$$

Простейшие уравнения модели «хищник – жертва» (2.1) обладают рядом существенных недостатков. Так, в них предполагается неограниченность пищевых ресурсов для жертвы и неограниченный рост хищника, что противоречит экспериментальным данным. Кроме того, при наличии даже небольших возмущающих воздействий траектория системы будет все дальше уходить от положения равновесия и система достаточно быстро разрушится.

Тем не менее представления о колебательном характере динамики системы «хищник – жертва» получили широкое распространение в экологии. Давайте рассмотрим еще несколько причин колебания численности наших хищников и жертв.

Предположим, в нашей системе происходит искусственное уничтожение особей обоих видов, и рассмотрим вопрос о том, каким образом уничтожение особей влияет на средние значения их численности, если коэффициенты пропорциональности будут α_1 и α_2 для жертвы и хищника соответственно.

Для начала перепишем систему уравнений (2.1) в виде

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = N_1(\varepsilon_1 - \alpha_1 - \gamma_1 N_2) & \alpha_1 > 0 \\ \frac{dN_2}{dt} = N_2(-\varepsilon_2 - \alpha_2 + \gamma_2 N_1) & \alpha_2 > 0. \end{cases} \quad (2.15)$$

Предположим, что $\alpha_1 < \varepsilon_1$, т. е. коэффициент истребления жертвы меньше коэффициента ее естественного прироста. В этом случае также будут наблюдаться периодические колебания численности. Вычислим средние значения численностей:

$$\begin{cases} \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} N_2(t) dt = \frac{\varepsilon_1 - \alpha_1}{Y_1} \\ \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} N_1(t) dt = \frac{\varepsilon_2 + \alpha_2}{Y_2} \end{cases} \quad (2.16)$$

Таким образом, если $\alpha_1 < \varepsilon_1$, то средняя численность популяций жертвы возрастает, а хищника – убывает.

Рассмотрим случай, когда коэффициент истребления жертвы больше коэффициента ее естественного прироста, т.е. $\alpha_1 > \varepsilon_1$. В этом случае $\varepsilon_1 - \alpha_1 - \gamma_1 N_2 < 0$ при любых $N_2 > 0$, и, следовательно, решение первого уравнения (2.15) ограничено сверху экспоненциально убывающей функцией $N_1(t) \leq N_1 e^{(\varepsilon_1 - \alpha_1)t}$, т. е. $N_1(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Начиная с некоторого момента времени t , при котором $\gamma_2 N_1(t) - \varepsilon_2 - \alpha_2 = 0$, решение второго уравнения (2.15) также начинает убывать и при $t \rightarrow \infty$ стремится к нулю. Таким образом, в случае $\alpha_1 > \varepsilon_1$ оба вида исчезают.

Первые модели В. Вольтерра, естественно, не могли отражать все стороны взаимодействия в системе «хищник – жертва», поскольку они были в значительной мере упрощены относительно реальных условий. Например, если численность хищника N_2 равна нулю, то из уравнений (1.4) следует, что численность жертвы неограниченно возрастает, что не соответствует действительности.

сти. Однако ценность этих моделей состоит именно в том, что они были основой, на которой быстрыми темпами начала развиваться математическая экология.

Появилось большое число исследований различных модификаций системы «хищник – жертва», где были построены более общие модели, учитывающие в той или иной степени реальную ситуацию в природе.

В 1936 г. А. Н. Колмогоров предложил использовать для описания динамики системы «хищник – жертва» следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = N_1 g_1(N_1, N_2) \\ \frac{dN_2}{dt} = N_2 g_2(N_1, N_2) \end{cases}, \quad (2.17)$$

где g_1 убывает с возрастанием численности хищников, а g_2 возрастает с увеличением численности жертвы.

Эта система дифференциальных уравнений в силу ее достаточной общности позволяет хорошо учитывать реальное поведение популяций и вместе с тем проводить качественный анализ ее решений.

Позднее в своей работе А. Н. Колмогоров исследовал подробно менее общую модель:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = g_1(N_1)N_1 - L(N_1)N_2 \\ \frac{dN_2}{dt} = g_2(N_1, N_2) \end{cases}. \quad (2.18)$$

Различные частные случаи системы дифференциальных уравнений (2.18) исследовались многими авторами. В таблице приведены различные частные случаи функций $g(N_1)$, $L(N_1)$, $g_2(N_1, N_2)$.

Различные модели сообщества «хищник – жертва»

$g(N_1)$	$L(N_1)$	$g_2(N_1, N_2)$	Авторы
ϵ_1	$\alpha_{12}N_1$	$-\epsilon_2 + \alpha_{21}N_1$	Вольтерра – Лотка
$\epsilon_1 - \alpha_1 N_1$	$\alpha_{12}N_1$	$\epsilon_2(1 - e^{-\gamma N_1})$	Гаузе
ϵ_1	$\alpha_{12}N_1$	$\epsilon_2 - \alpha_{21} \frac{N_2}{N_1}$	Пислоу
ϵ_1	$\frac{\alpha N_1}{1 + ahN_1}$	$\epsilon_2 - \alpha_{21} \frac{N_2}{N_1}$	Холинг
ϵ_1	$b(1 - e^{-\gamma N_1})$	$\epsilon_2 - \alpha_{21} \frac{N_2}{N_1}$	Ивлев
ϵ_1	$\frac{\alpha(N_1)N_1}{1 + \alpha(N_1)hN_1}$	$\epsilon_2 - \alpha_{21} \frac{N_2}{N_1}$	Рояма
$\epsilon_1 - \frac{N_1}{K_1}$	$\frac{\alpha N_1}{1 + ahN_1}$	$1 - \frac{N_2}{K_1} N_1$	Шимазу
$\epsilon_1 - \alpha_1 N_1$	$\alpha_{12}(1 - e^{-\gamma N_1})$	$\epsilon_2(1 - \alpha_{21} e^{-\mu N_1})$	Мэй

Давайте решим небольшую задачу, основанную на модели Вольтерра – Лотки.

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

В изолированной среде (пруду) обитают вместе два вида: караси и щуки. Пруд обеспечивает едой карасей. Их мы будем считать жертвами. Щуки же выступают в роли хищников и будут питаться только живущими рядом карасями.

Дано:

Наименование показателя	Щуки	Караси
$N(t_0)$ – начальная численность популяции	10 000	800
ε – коэффициент естественного прироста/смертности	1,1	0,001
γ – коэффициенты межвидового взаимодействия	0,0001	0,0001

Со временем число карасей и щук меняется, но так как рыбы в пруду много, то будем называть N_K и $N_{Щ}$ непрерывными функциями времени t , а пару чисел $(N_K, N_{Щ})$ – состоянием модели.

В экосистеме скорость изменения численности каждого вида будем считать пропорциональной его численности, с коэффициентом, который зависит от численности особей другого вида. Так, для карасей этот коэффициент уменьшается с увеличением числа щук, а для щук увеличивается с увеличением числа карасей. Будем считать эту зависимость также линейной. Тогда получим систему из двух дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_K}{dt} = N_K(\varepsilon_K - \gamma_K N_{Щ}) \\ \frac{dN_{Щ}}{dt} = N_{Щ}(\gamma_{Щ} N_K - \varepsilon_{Щ}) \end{cases}$$

Эта система уравнений и называется моделью Вольтерра – Лотки. Числовые коэффициенты $\varepsilon_K, \varepsilon_{Щ}, \gamma_K, \gamma_{Щ}$ называются параметрами модели. Проинтегрируем оба уравнения системы по t , которое будет изменяться от t_0 до $t_0 + T$, где T – период, за который происходят изменения в экосистеме. Пусть в нашем случае период равен одному году. Тогда система принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \int_{t_0}^{t_0+1} \frac{dN_K(t)}{dt} dt = \int_{t_0}^{t_0+1} N_K(\varepsilon_K - \gamma_K N_{Щ}) dt \\ \int_{t_0}^{t_0+1} \frac{dN_{Щ}(t)}{dt} dt = \int_{t_0}^{t_0+1} N_{Щ}(\gamma_{Щ} N_K - \varepsilon_{Щ}) dt \end{cases};$$

$$\begin{cases} N_K(t)|_{t_0}^{t_0+1} = N_K(\varepsilon_K - \gamma_K N_{Щ})t|_{t_0}^{t_0+1} \\ N_{Щ}(t)|_{t_0}^{t_0+1} = N_{Щ}(\gamma_{Щ} N_K - \varepsilon_{Щ})t|_{t_0}^{t_0+1} \end{cases}$$

Принимая $N_K = N_K(t_0)$ и $N_{Щ} = N_{Щ}(t_0)$, приведем подобные слагаемые, получим систему, состоящую из двух уравнений:

$$\begin{cases} N_K(t_0 + 1) = N_K(t_0) + N_K(\varepsilon_K - \gamma_K N_{Щ}) \\ N_{Щ}(t_0 + 1) = N_{Щ}(t_0) + N_{Щ}(\gamma_{Щ} N_K - \varepsilon_{Щ}) \end{cases}$$

Подставив в полученную систему исходные данные, получим популяцию щук и карасей в озере спустя год:

$$\begin{cases} N_k(t_0 + 1) = 10\,000 + 10\,000(0,001 - 0,0001 \times 800) \\ N_{щ}(t_0 + 1) = 800 + 800(0,0001 \times 10000 - 1,1) \end{cases},$$

$$\begin{cases} N_k(t_0 + 1) = 9210 \\ N_{щ}(t_0 + 1) = 720 \end{cases}.$$

Библиографический список

1. Базыкин, А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций / А. Д. Базыкин. М.: Наука, 1980. 181 с.
2. Турчин, П. В. Популяционная динамика / П. В. Турчин // Биологическое образование в МФТИ. 2012.

УДК 519.7

А. Ю. Картохина

студент кафедры высшей математики и механики

Л. П. Вершинина

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

FUZZY-ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ

В последнее десятилетие для анализа и обработки информации все чаще применяют нечеткую логику. Особенно эффективно использование нечетких технологий там, где анализируемый объект достаточно сложен для его точного описания и существует дефицит априорной информации о поведении системы. Так, например, диагностика систем при помощи fuzzy-технологий применяется в компьютерных системах, социологии, медицине и т.д.

Цель этой работы заключается в том, чтобы кратко представить основную идею нечеткого подхода, определить области и проблемы, которые можно решить или диагностировать с помощью fuzzy-технологий. Понять, на стыке с какими науками наиболее успешно может взаимодействовать нечеткий подход.

На современном этапе развития общества, с его новыми методами и средствами лечения, существует проблема заболеваемости населения. Несмотря на постоянные исследования в сфере медицины, появляются все новые смертельные заболевания, а процент существующих только увеличивается. Причин тому много – и плохая экологическая обстановка, и постоянное развитие промышленности. Эти весомые факторы влияют на понижение иммунитета человека, что способствует увеличению процента смертности от различных заболеваний.

Для решения задачи диагностирования еще с середины XX в. применялись различные методики: метод логического базиса и фазового интервала [1], вероятностный, или байесовский, метод [1, 2], статистический подход [1, 3], нейросетевые технологии [4, 5]. Использование этих подходов имеет следующие характерные особенности: ненадежность принятия решения, необходимость в обширной базе архивных данных, нераспознавание исключительных ситуаций, пересечение классов заболеваний.

Один из классических методов применения нечеткой диагностики – создание модели восходящего вывода (наряду с другими нечеткими моделями), которая позволяет классифицировать объекты по категориям [6].

На рис. 1 показан пример вывода такой модели, в которой мы рассматриваем шесть диагнозов dg_1, \dots, dg_6 . Эти результаты можно интерпретировать так, что если мы подтвердили диагноз 1, мы нашли частичное доказательство диагнозов 2, 4 и 6, и мы не нашли подтверждающую информацию для диагнозов 3 и 5.



Рис. 1. Пример нечеткого вывода с подтверждающей информацией

Если мы также добавим правила, которые описывают условия, при которых мы можем опровергнуть диагноз, мы можем получить результаты, как на рис. 2. Такое мышление приносит дополнительную информацию в ситуации диагностики. Мы можем интерпретировать результаты следующим образом: диагноз 1 можно рассматривать как подтвержденный, существует противоречивая информация относительно диагноза 2 – он частично подтвержден и частично опровергнут, мы не

нашли никакой информации (ни подтверждающей, ни опровергающей) для диагноза 3, есть сильное, но неполное подтверждение dg4, но также была найдена некоторая опровергающая информация, dg5 может считаться опровергнутым, как и dg6 (где был найден только небольшой уровень подтверждения). Если мы добавим опровергающие правила, мы сможем идентифицировать двойственную информацию (dg2). Теперь мы можем различать dg3 (полное отсутствие информации об этом диагнозе – нет причин подтверждать или опровергать его) и dg5 (теперь явно опровергнуто).

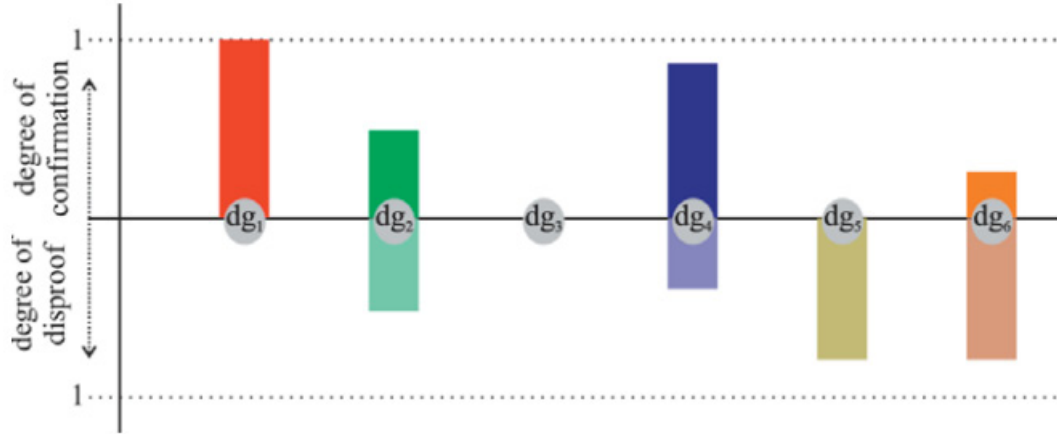


Рис. 2. Пример нечеткого вывода с подтверждающей и опровергающей информацией

Рассмотрим пример применения нечеткой логики для диагностики здоровья пациента. Составим модель нечеткого нисходящего вывода [7], которая позволит диагностировать причины плохого состояния пациента.

Конкретные входы (предпосылки) и выходы (заключения) можно рассматривать как нечеткие множества A и B на пространствах X и Y .

Имеется

$$\begin{array}{l} \text{Вход} \\ \text{Выход} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} x_1 - \text{недостаток витамина A} \\ x_2 - \text{недостаток витамина B} \\ x_3 - \text{недостаток витамина C} \\ x_4 - \text{недостаток витамина D} \\ \\ y_1 - \text{алопеция} \\ y_2 - \text{подверженность стрессу, депрессии} \\ y_3 - \text{ослабление иммунитета} \\ y_4 - \text{снижение остроты зрения} \\ y_5 - \text{усталость, сонливость} \end{array} \right.$$

$$R : X \circ R = Y$$

Между x_i и y_j существуют нечеткие причинные отношения $r_{ij} = x_i \rightarrow y_j$, которые можно представить в виде некоторой матрицы R с элементами $r_{ij} \in [0, 1]$:

$$R = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,5 & 0,8 & 0,3 & 0,7 \\ 0,3 & 0,4 & 0,7 & 0,4 & 0,8 \\ 0,1 & 0,3 & 0,6 & 0,2 & 0,9 \\ 0,2 & 0,4 & 0,5 & 0,5 & 0,8 \end{pmatrix}$$

Пусть состояние пациента оценивается

$$Y = 0,2/y_1 + 0,5/y_2 + 0,8/y_3 + 0,3/y_4 + 0,9/y_5$$

$$X = (x_1; x_2; x_3; x_4)$$

$$(x_1; x_2; x_3; x_4) = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,5 & 0,8 & 0,3 & 0,7 \\ 0,3 & 0,4 & 0,7 & 0,4 & 0,8 \\ 0,1 & 0,3 & 0,6 & 0,2 & 0,9 \\ 0,2 & 0,4 & 0,5 & 0,5 & 0,8 \\ 0,2 & 0,5 & 0,8 & 0,3 & 0,9 \end{pmatrix}$$

$$X = 0,8/x_1 + 0,2/x_2 + 0,9/x_3 + 0,3/x_4.$$

Таким образом, значимыми параметрами являются x_1 и x_3 . Значит, пациенту необходимо выписать курс витаминов А и С.

Нечеткая логика – это решение сложных проблем в медицине, а также во всех сферах жизни, так как она имитирует логику человека и принятие решений, рассматривает все оттенки серого и отвечает неопределенностям и неясностям, созданным человеческим языком, где все не может быть описано в точных и дискретных терминах.

Библиографический список

1. Мисюк, Н. С. Диагностические алгоритмы / Н. С. Мисюк, А. М. Гурленя, В. В. Лозовик. Минск: Вышэйшая школа, 1980. 348 с.
2. Ластед, Л. Введение в проблему принятия решений в медицине / Л. Ластед. М.: Мир, 1981. 283 с.
3. Фрейзер, П. Микрокомпьютеры в физиологии / П. Фрейзер. М.: Мир, 1990. 383 с.
4. Барский, А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. М.: Финансы и статистика, 2004. 176 с.
5. Комашинский, В. И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В. И. Комашинский, Д. А. Смирнов. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 94 с.
6. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
7. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде. М.: Мир, 1976. 46 с.

УДК 519.7

Е. А. Плотникова

студент кафедры высшей математики и механики

Л. П. Вершинина

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

НЕЧЕТКИЕ АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Понятие «нечеткая логика» основательно вошло в нашу жизнь. С каждым годом увеличивается количество устройств, которые работают под управлением нечетких алгоритмов. Такие системы управления хороши в тех случаях, когда модель процесса достаточно объемна и требует больших вычислительных ресурсов, а также в случае, когда система управления создана на основе экспертных знаний.

Нечеткую логику можно применить почти к любой сфере жизни. Одной из прикладной областей математики является распознавание образов. Распознавание образов применяется для решения различных задач, таких как сканирование и распознавание лиц на фотографиях, автомобильных номеров, идентификация систем для управления устройством жестами, понимание изображений как функции технического зрения роботов, проведение автоматического контроля качества на производстве. Но процесс распознавания образов человеком – сложная обработка зрительной информации, где важную роль играет психологические факторы [1].

Наиболее применяемые методы распознавания изображения [1]:

- нечеткая кластеризация по C -средним;
- обнаружение нечетких границ;
- кластеризация на основе теории возможности;
- нечеткая классификация.

В данной работе рассмотрен алгоритм работы простого устройства контроля движущихся заготовок на ленточном конвейере с помощью метода нечеткой классификации.

Основные показатели плоских заготовок, которые будут двигаться на ленточном конвейере, определяются с погрешностью. Обозначим через Z_1, Z_2, \dots, Z_n . Тогда описание заготовки будет представлять функциональное отображение вида: $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$. Например, Z_1 – площадь описанного вокруг предмета прямоугольника, Z_2 – отношение размеров фигуры, Z_3 – площадь заготовки, Z_4 – центр тяжести и его смещение, Z_5 – периметр и т.д.

Рассмотрим подробно процесс построения модели распознавания заготовки.

На первом этапе формируется нечеткая база правил систем нечеткого вывода, которая позволяет по совокупности значений нечетких признаков определить тип заготовок. Также производится генерация множества правил, исходя из возможных сочетаний нечетких высказываний в предпосылках и заключениях, в соответствии с которыми максимальное количество правил в базе определяется следующим отношением: $N = N_{Z_1} \cdot N_{Z_2} \cdot \dots \cdot N_{Z_n}$, где $N_{Z_1}, N_{Z_2}, \dots, N_{Z_n}$ – число функций принадлежности для задания i -й входного параметра.

На этапе фаззификации происходит установление соответствия между конкретным значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной. В качестве терм-множеств для соответствующих входных лингвистических переменных Z_1, Z_2, \dots, Z_n будут использоваться соответственно множества $\alpha_j, \beta_k, \gamma_l$. Например, для Z_1 – площадь описанного вокруг предмета прямоугольника будет использовать терм-множеств α_1 – большая, β_2 – средняя, γ_3 – малая. Функции принадлежности для входных переменных строим с использованием метода статистической обработки экспертной информации [2].

На основании нечеткой базы были составлены функции принадлежности параметров объектов, имеющих признаки (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) .

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Обозначим, что $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m$ – нечеткие классы заготовок. Для нашего примера нечеткие классы будут следующие: ρ_1 – круг, ρ_2 – многоугольник, ρ_3 – квадрат, ρ_4 – ромб, ρ_5 – трапеция и т.д.

$\mu_{\rho_i}(z_1, z_2, \dots, z_n)$ – функция принадлежности заготовки, характеризуемой параметрами (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) , классу ρ_i ; определяется на основе решающей таблицы.

Z_1	Z_2	...	Z_n	ρ
α_1	β_1		γ_3	ρ_4
α_3	β_2		γ_2	ρ_1
....				

$$\mu_{\rho_i}(z_1, z_2, \dots, z_n) = V_{j, k, l}(\mu_{\alpha_j}(z_1) \wedge \mu_{\beta_k}(z_2) \wedge \dots \wedge \mu_{\gamma_l}(z_n)), \text{ где } i = 1, \dots, m, j, k, l = 1, \dots, n.$$

Для данных $(z_1^0, z_2^0, \dots, z_n^0)$ вычисляем $\mu_{\rho_i}(z_1^0, z_2^0, \dots, z_n^0)$.

Определяем $\mu_{\rho_0} = \max \mu_{\rho_i}(\dots)$, тогда заготовку относим к классу ρ_{i_0} .

Исходя из описанного алгоритма, можно сделать вывод, что преимущество нечеткой логики состоит в следующем:

- такой алгоритм позволяет использовать простое устройство в реальном времени;
- происходит охват всех возможных признаков объекта;
- модель распознавания содержит меньше правил, чем соответствующая четкая модель;
- измерение происходит с погрешностями, а нечеткая логика учитывает эти погрешности;
- алгоритм работает в условиях неопределенности.

Библиографический список

1. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: Мир, 1993. 368 с.
2. Нечеткие множества и теория возможностей / Под ред. Ягера Рональда Р. М.: Радио и связь, 1986. 406 с.

УДК 517.957

П. А. Федотовская

студент кафедры высшей математики и механики

А. О. Смирнов

доктор физико-математических наук, доцент – научный руководитель

**О СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЯХ ОПЕРАТОРА ШРЕДИНГЕРА
С ВЫРОЖДЕННЫМИ КОНЕЧНОЗОННЫМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ**

Хорошо известно, что собственные функции оператора $\psi_{1,2}$ Шредингера с периодическим потенциалом $u = (x+T) \equiv u(x)$

$$\psi'' = (\lambda + u(x))\psi \tag{1}$$

линейно независимы при почти всех значениях спектрального параметра λ . Исключения составляют лишь спектральные значения параметра λ , соответствующие периодической и антипериодической задачам:

$$\psi_{1,2}(X + T, \lambda_j) = \pm \psi_{1,2}(x, \lambda_j).$$

В случае конечнозонного потенциала таких значений конечное число и все они являются нулями Вронскиана:

$$W(\lambda) = \psi_1 \psi_2' - \psi_1' \psi_2.$$

Наш метод основывается на том, что произведения $Y = \psi_1 \psi_2$ любых двух решений уравнения (1) удовлетворяют уравнению Аппеля ([1], Часть II, Глава 14, Пример 10 [2]):

$$Y''' - 4(\lambda + u(x))Y' - 2u'(x)Y = 0. \tag{2}$$

В случае N -зонного потенциала $u(x)$ уравнение (2) имеет решение в виде многочлена [3]:

$$Y(x, \lambda) = \lambda^N + \sum_{j=1}^n \gamma_j(x) \lambda^{N-j}. \tag{3}$$

Подставляя (3) в (2) и приравнявая нулю коэффициенты при степенях λ , получаем рекуррентные соотношения на γ_j :

$$\gamma_1' = \frac{1}{2}u'(x),$$

$$\gamma_{k+1}' = -u(x)\gamma_k' - \frac{1}{2}u'(x)\gamma_k + \frac{1}{4}\gamma_k'''. \tag{4}$$

Зная произведение решений $Y(x, \lambda)$ и их Вронскиан, нетрудно найти линейно независимые решения уравнения (1) по формуле [4]:

$$\psi_{1,2} = \sqrt{Y(x, \lambda)} \exp \left\{ \mp x(\lambda) \int \frac{dx}{Y(x, \lambda)} \right\}, \tag{5}$$

где $X(\lambda) = W(\lambda) / 2$. Подставляя (5) в (1) и упрощая, получаем

$$X^2(\lambda) = (\lambda + u(x))Y^2 + \frac{1}{4}((Y')^2 - 2YY'''). \tag{6}$$

Заметим, что если функция $Y(x, \lambda)$ является многочленом по λ степени N , то уравнение (6) является уравнением гиперэллиптической кривой рода N :

$$X^2(\lambda) = \prod_{j=1}^{2N+1} (\lambda - \lambda_j), \tag{7}$$

а функция $u(x)$ является N -зонным потенциалом оператора (1).

В общем случае комплекснозначный потенциал $u(x)$ имеет два периода. Если один из них или оба устремить к бесконечности, то потенциал станет тригонометрическим (гиперболическим)

или рациональным. В этом случае некоторые из нулей Вронскиана λ_j будут совпадать, что приведет к вырождению спектральной кривой (7). Из линейности и однородности уравнения (2) следует, что наряду с решением (3) оно имеет решение

$$\tilde{Y}(x, \lambda) = \lambda^{-N} Y(x, \lambda) = 1 + \sum_{j=1}^N \gamma_j(x) \lambda^{-j},$$

т.е. в случае N -зонного потенциала бесконечный ряд

$$\tilde{Y}(x, \lambda) = 1 + \sum_{j=1}^{\infty} \gamma_j(x) \lambda^{-j} \quad (8)$$

становится конечной суммой вследствие того, что выполняется условие

$$\gamma_j(x) \equiv 0 \text{ при } j > N.$$

Нетрудно видеть, что из рекуррентных соотношений (4) следует, что достаточно выполнения условия

$$\gamma_{N+1} \equiv 0.$$

Однозонные потенциалы

Сначала рассмотрим рациональный потенциал

$$u(x) = \frac{A}{x^2}. \quad (9)$$

Подставляя его в уравнение (2), получаем

$$Y''' - 4 \left(\lambda + \frac{A}{x^2} \right) Y' - \frac{4A}{x^3} Y = 0. \quad (10)$$

Из соотношений (4) следует, что в этом случае выполняются следующие равенства:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= -\frac{A}{2x^2} + c_1, \\ \gamma_2 &= \frac{3A(A-2)}{8x^4} - \frac{Ac_1}{2x^2} + c_2. \end{aligned}$$

Следовательно, при $A = 2$, $c_1 = 0$, $c_2 = 0$ выполняется условие $\gamma_2 = 0$ и потенциал (9) является однозонным. Вычисляя функцию Y и уравнение спектральной кривой, получаем

$$Y(x, \lambda) = \lambda - \frac{1}{x^2} = \frac{\lambda x^2 - 1}{x^2}$$

и

$$X^2(\lambda) = \lambda^3.$$

Следовательно, решения уравнения

$$\psi'' = \left(\lambda + \frac{2}{x^2} \right) \psi$$

имеют вид

$$\psi_{1,2} = \frac{\sqrt{\lambda x^2 - 1}}{x} \exp \left\{ \mp \lambda \sqrt{\lambda} \int \frac{x^2 dx}{\lambda x^2 - 1} \right\}.$$

Вычисляя интеграл, получаем

$$\psi_{1,2} = \frac{\sqrt{\lambda x^2 - 1}}{x} \left\{ \frac{\sqrt{\lambda x - 1}}{\sqrt{\lambda x + 1}} \right\}^{\mp 1/2} e^{\mp \sqrt{\lambda x}}$$

или

$$\psi_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{\lambda x}}{x} e^{\mp \sqrt{\lambda x}}.$$

Вычисляя для тригонометрического потенциала

$$u(x) = \frac{A}{\sin^2(ax)} \quad (11)$$

коэффициенты γ_j , получаем

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= -\frac{A}{2} \operatorname{ctg}^2(ax) + c_1, \\ \gamma_2 &= \frac{3A(A - 2a^2)}{8\sin^4(ax)} - \frac{A(2c_1 + A - 2a^2)}{4\sin^2(ax)} + c_2. \end{aligned}$$

Следовательно, как нетрудно видеть, при $A = 2a^2$, $c_1 = 0$, $c_2 = 0$ потенциал (11) является однозонным. При этом многочлен Y имеет вид

$$Y = \lambda - a^2 \operatorname{ctg}^2(ax).$$

Вычисляя уравнение спектральной кривой, получаем

$$X^2 = \lambda(\lambda + a^2)^2.$$

Собственные функции оператора Шредингера с потенциалом (11) при $A = 2a^2$ имеют вид

$$\psi_{1,2} = (\sqrt{\lambda} \pm a \operatorname{ctg}(ax)) e^{\mp \sqrt{\lambda x}}.$$

Переходим в потенциале (11) от тригонометрической функции к гиперболической:

$$u(x) = \frac{A}{\operatorname{ch}^2(ax)}. \quad (12)$$

Вычисляя для потенциала (12) коэффициенты γ_j , получаем

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= -\frac{A}{2\operatorname{ch}^2(ax)} + c_1, \\ \gamma_2 &= \frac{3A(A + 2a^2)}{8\operatorname{ch}^4(ax)} - \frac{A(c_1 + a^2)}{2\operatorname{ch}^2(ax)} + c_2. \end{aligned}$$

Следовательно, как нетрудно видеть, при $A = -2a^2$, $c_1 = -a^2$, $c_2 = 0$ потенциал (12) является однозонным. При этом многочлен Y имеет вид

$$Y = \lambda - a^2 \operatorname{th}^2(ax).$$

Вычисляя уравнение спектральной кривой, получаем

$$X^2 = \lambda(\lambda - a^2)^2. \quad (13)$$

Собственные функции оператора Шредингера с потенциалом (12) при $A = -2a^2$ имеют вид

$$\psi_{1,2} = (\sqrt{\lambda} \pm a \operatorname{th}(ax)) e^{\mp \sqrt{\lambda x}}.$$

Двухзонные потенциалы

Если в рациональном потенциале (9) предположить, что $A \neq 2$, то $\gamma_2 \neq 0$. Вычисляя γ_3 , получаем

$$\gamma_3 = -\frac{5A(A - 2)(A - 6)}{16x^6} + \frac{3c_1A(A - 2)}{8x^4} - \frac{c_2A}{2x^2} + c_3.$$

Следовательно, при $A = 6$, $c_j = 0$ ($j \geq 1$) потенциал является двухзонным и выполняются следующие равенства:

$$Y(x, \lambda) = \lambda^2 - \frac{3\lambda}{x^2} + \frac{9}{x^4} = \frac{\lambda^2 x^4 - 3\lambda x^2 + 9}{x^4},$$

и

$$X^2(\lambda) = \lambda^5.$$

Таким образом, решения уравнения

$$\psi'' = \left(\lambda + \frac{6}{x^2} \right) \psi$$

имеют вид

$$\psi_{1,2} = \frac{\sqrt{\lambda^2 x^4 - 3\lambda x^2 + 9}}{x^2} \exp \left\{ \mp \lambda^2 \sqrt{\lambda} \int \frac{x^4 dx}{\lambda^2 x^4 - 3\lambda x^2 + 9} \right\}.$$

Вычисляя интеграл, получаем

$$\psi_{1,2} = \frac{\sqrt{\lambda^2 x^4 - 3\lambda x^2 + 9}}{x^2} \left\{ \frac{\lambda x^2 - 3\sqrt{\lambda}x + 3}{\lambda x^2 + 3\sqrt{\lambda}x + 3} \right\}^{\mp 1/2} e^{\mp \sqrt{\lambda}x}.$$

или

$$\psi_{1,2} = \frac{\lambda x^2 + 3 \pm 3\sqrt{\lambda}x}{x^2} e^{\mp \sqrt{\lambda}x}.$$

Если для тригонометрического потенциала $A \neq 2$, то $\gamma_2 \neq 0$. Вычисляя γ_3 , получаем

$$\gamma_3 = -\frac{5A(A - 2a^2)(A - 6a^2)}{16 \sin^6(ax)} + \frac{3A(A - 2a^2)(A - 10a^2 + 2c_1)}{16 \sin^4(ax)} - \frac{A(2a^4 - Aa^2 - 2c_1a^2 + 2c_2)}{4 \sin^2(ax)} + c_3.$$

Следовательно, при $A = 6a^2$, $c_1 = 2a^2$, $c_2 = 4a^4$, $c_3 = 0$ потенциал является двухзонным и выполняются следующие равенства:

$$Y(x, \lambda) = \lambda^2 - a^2 \lambda (3 \operatorname{ctg}^2(ax) - 2) + a^4 (3 \operatorname{ctg}^2(ax) + 1)^2$$

и

$$X^2 = \lambda(\lambda + a^2)^2(\lambda + 4a^2)^2.$$

Собственные функции оператора Шредингера с потенциалом (11) при $A = 6a^2$ имеют вид

$$\psi_{1,2} = \left(\lambda \pm 3a\sqrt{\lambda} \operatorname{ctg}(ax) + a^2 + 3a^2 \operatorname{ctg}^2(ax) \right) e^{\mp \sqrt{\lambda}x}.$$

Положив в формуле гиперболического потенциала $A \neq 2$, получаем $\gamma_2 \neq 0$. Вычисляя γ_3 , имеем

$$\gamma_3 = -\frac{5A(A + 2a^2)(A + 6a^2)}{16 \operatorname{ch}^6(ax)} + \frac{3A(A + 2a^2)(5a^2 + c_1)}{8 \operatorname{ch}^4(ax)} - \frac{A(a^4 + c_1a^2 + c_2)}{2 \operatorname{ch}^2(ax)} + c_3.$$

Следовательно, при $A = -6a^2$, $c_1 = -5a^2$, $c_2 = 4a^4$, $c_3 = 0$ потенциал является двухзонным и выполняются следующие равенства:

$$Y(x, \lambda) = \lambda^2 - a^2 \lambda \left(\frac{3}{\operatorname{ch}^2 x} - 5 \right) + a^4 \left(\frac{3}{\operatorname{ch}^2 x} - 2 \right)^2$$

и

$$X^2 = \lambda(\lambda - a^2)^2(\lambda - 4a^2)^2.$$

Собственные функции оператора Шредингера с потенциалом (11) при $A = -6a^2$ имеют вид

$$\psi_{1,2} = \left(\lambda \pm 3a\sqrt{\lambda} \operatorname{th}(ax) + 2a^2 - \frac{3a^2}{\operatorname{ch}^2(ax)} \right) e^{\mp \sqrt{\lambda}x}.$$

Анзац собственных функций оператора Шредингера

Анализ рассмотренных примеров вырожденных конечнозонных потенциалов позволяет предложить следующий анзац для собственных функций оператора Шредингера (1) с данными потенциалами:

$$\psi_{1,2} = \left(k^N + \sum_{j=1}^N f_j(x) k^{N-j} \right) e^{kx},$$

где $k = \pm\sqrt{\lambda}$. Коэффициенты $f_j(x)$ находятся из двух условий:

1. Функции $\psi_{1,2}$ удовлетворяют уравнению (1).
2. Произведение этих функций является многочленом $Y(x, \lambda)$.

Собственные функции с однозонными потенциалами будем искать в виде

$$\psi_{1,2} = (\sqrt{\lambda} \pm f(x)) \exp(\mp\sqrt{\lambda}x). \quad (14)$$

Подставляя (14) в (1) и упрощая, получаем следующие равенства:

$$\begin{aligned} u &= -2f', \\ f'' + 2ff' &= 0. \end{aligned}$$

интегрируя которые, получаем

$$f' = -f^2 + C$$

или

$$x = -\int \frac{df}{f^2 - C}.$$

В зависимости от значения величины C получаются три различных случая.

1. Если $C = 0$, то

$$f = \frac{1}{x - x_0}, \quad u = \frac{2}{(x - x_0)^2}.$$

2. Если $C = a^2 > 0$, то

$$f = a \operatorname{th}[a(x - x_0)], \quad u = \frac{-2a^2}{\operatorname{ch}^2[a(x - x_0)]}.$$

3. Если $C = -a^2 < 0$, то

$$f = a \operatorname{ctg}[a(x - x_0)], \quad u = \frac{2a^2}{\operatorname{sin}^2[a(x - x_0)]}.$$

Многочлен Y в этих обозначениях будет равен

$$Y = \lambda - f^2,$$

т.е. $\gamma_1 = -f^2$, а уравнение спектральной кривой будет иметь вид

$$X^2 = \lambda(\lambda - C)^2.$$

Вычисляя функцию $X(\lambda)$ через Вронскиан решений (14), имеем

$$X(\lambda) = \frac{1}{2} W[\psi_1, \psi_2] = \sqrt{\lambda}(\lambda - C).$$

Собственные функции с двухзонными потенциалами будем искать в виде

$$\psi_{1,2} = (\lambda \pm \sqrt{\lambda}f(x) + h(x)) \exp(\mp\sqrt{\lambda}x). \quad (15)$$

Подставляя (15) в (1) и упрощая, получаем следующие равенства:

$$\begin{aligned} u &= -2f', \\ f'' + 2ff' - 2h &= 0, \\ h'' - uh &= 0. \end{aligned}$$

Интегрируя $u(x)$, находим $f(x)$.

Многочлен Y в этих обозначениях будет равен

$$Y = \lambda^2 + \lambda(2h - f^2) + h^2, \quad (16)$$

т.е.

$$\gamma_1 = 2h - f^2, \quad \gamma_2 = h^2. \quad (17)$$

Следовательно, $h = (\gamma_1 + f^2) / 2$. Равенство $h^2 = \gamma_2$ позволяет уточнить постоянную интегрирования. Собственные функции с трехзонными потенциалами будем искать в виде

$$\psi_{1,2} = \left(\lambda^{3/2} \pm \lambda f(x) + \sqrt{\lambda} g(x) \pm h(x) \right) \exp(m\sqrt{\lambda}x). \quad (18)$$

Подставляя (18) в (1) и упрощая, получаем следующие равенства:

$$\begin{aligned} u &= -2f', \\ f'' - uf - 2g' &= 0, \\ g'' - ug - 2h' &= 0, \\ h'' - uh &= 0. \end{aligned}$$

Интегрируя $u(x)$, находим $f(x)$.

Многочлен Y в этих обозначениях будет равен

$$Y = \lambda^3 + \lambda^2(2g - f^2) + \lambda(g^2 - 2fh) - h^2, \quad (19)$$

т.е.

$$\gamma_1 = 2g - f^2, \quad \gamma_2 = g^2 - 2fh, \quad \gamma_3 = -h^2.$$

Зная γ_1 , γ_2 и γ_3 , из уравнений (20) можно найти функции f , g и h :

$$g = \frac{\gamma_1 + f^2}{2}, \quad h = \frac{g^2 - \gamma_2}{2f}.$$

Из формулы $h^2 = -\gamma_3$ находится постоянная интегрирования.

Трехзонные потенциалы

Если предположить, что в выражении для рационального потенциала $A \neq 2$, $A \neq 6$, то $\gamma_2 \neq 0$ и $\gamma_3 \neq 0$. Вычисляя γ_4 , получаем

$$\gamma_4 = \frac{35(A-12)(A-6)(A-2)A}{128x^8} - \frac{5c_1(A-6)(A-2)A}{16x^6} + \frac{3c_2(A-2)A}{8x^4} - \frac{c_3A}{2x^2} + c_4.$$

Следовательно, при $A = 12$, $c_j = 0$ ($j \geq 1$) потенциал является трехзонным и выполняется следующее равенство:

$$Y(x, \lambda) = \lambda^3 - \frac{6\lambda^2}{x^2} + \frac{45\lambda}{x^4} - \frac{225}{x^6}.$$

Интегрируя $u(x) = 12/x^2$, получаем $f(x) = 6/x + f_0$. Вычисляя $g(x)$ и $h(x)$, имеем

$$g(x) = \frac{15}{x^2} + \frac{6f_0}{x} + \frac{f_0^2}{2}, \quad h(x) = \frac{(30 + 12f_0x + f_0^2x^2)^2 - 180}{8x^3(6 + f_0x)}.$$

Нетрудно видеть, что условие $h^2 = -\gamma_3$ выполняется при $f_0 = 0$. В этом случае

$$f(x) = \frac{6}{x}, \quad g(x) = \frac{15}{x^2}, \quad h(x) = \frac{15}{x^3},$$

а следовательно, собственные функции оператора Шредингера с рассмотренным трехзонным рациональным потенциалом имеют вид

$$\Psi_{1,2} = \left(\lambda^{3/2} \pm \frac{6\lambda}{x} + \frac{15\sqrt{\lambda}}{x^2} \pm \frac{15}{x^3} \right) e^{(\mp\sqrt{\lambda}x)}.$$

Соответствующая спектральная кривая задается уравнением

$$X^2(\lambda) = \lambda^7.$$

Если в формуле для тригонометрического потенциала положить $A \neq 2a^2$, $A \neq 6a^2$, то $\gamma_2 \neq 0$ и $\gamma_3 \neq 0$. Вычисляя γ_4 , получаем

$$\gamma_4 = \frac{35(A - 12a^2)(A - 6a^2)(A - 2a^2)A}{128 \sin^8(ax)} - \frac{5(A - 6a^2)(A - 2a^2)A(A - 28a^2 + 2c_1)}{32 \sin^6(ax)} +$$

$$+ \frac{3(A - 2a^2)(A(42a^4 - 5Aa^2 - 10c_1a^2 + 2c_2))}{16 \sin^4(ax)} + \frac{A(2a^6 - Aa^4 - 2c_1a^4 + 2c_2a^2 - 2c_3)}{4 \sin^2(ax)} + c_4.$$

Следовательно, при $A = 12a^2$, $c_1 = 8a^2$, $c_2 = 49a^4$, $c_3 = 36a^4$, $c_4 = 0$ потенциал (11) является трехзонным и выполняются следующие равенства:

$$Y(x, \lambda) = \lambda^3 + 2a^2\lambda^2 \left(4 - 3 \operatorname{ctg}^2(ax) \right) + a^4\lambda \left(\frac{45}{\sin^4(ax)} - \frac{78}{\sin^2(ax)} + 49 \right) - \frac{9a^6 (9 \cos(ax) + \cos(3ax))^2}{4 \sin^6(ax)},$$

$$X^2 = \lambda(\lambda + a^2)^2(\lambda + 4a^2)^2(\lambda + 9a^2)^2.$$

Функции f , g , h в случае трехзонного тригонометрического потенциала равны

$$f(x) = 6a \operatorname{ctg}(ax), \quad g(x) = a^2 \left(4 + 15 \operatorname{ctg}^2(ax) \right),$$

$$h(x) = \frac{3a^2 (9 \cos(ax) + \cos(3ax))}{2 \sin^3(ax)}.$$

Полагая в потенциале (12) $A \neq -2a^2$, $A \neq -6a^2$, $\gamma_2 \neq 0$ и $\gamma_3 \neq 0$. Вычисляя γ_4 , получаем

$$\gamma_4 = \frac{35(A + 12a^2)(A + 6a^2)(A + 2a^2)A}{128 \operatorname{ch}^8(ax)} - \frac{5(A + 6a^2)(A + 2a^2)(14a^2 + c_1)}{16 \operatorname{ch}^6(ax)} +$$

$$+ \frac{3A(A + 2a^2)(21a^4 + 5a^2c_1 + c_2)}{8 \operatorname{ch}^4(ax)} - \frac{A(a^6 + a^4c_1 + a^2c_2 + c_3)}{2 \operatorname{ch}^2(ax)} + c_4.$$

Таким образом, трехзонный потенциал вида (12) может быть получен при $A = -12a^2$, $c_1 = -14a^2$, $c_2 = 49a^4$, $c_3 = -36a^6$, $c_4 = 0$. Произведение собственных функций и спектральная кривая в данном случае определяются уравнениями

$$Y(x, \lambda) = \lambda^3 + 2a^2\lambda^2 \left(\frac{3}{\operatorname{ch}^2(ax)} - 7 \right) + a^4\lambda \left(\frac{45}{\operatorname{ch}^4(ax)} - \frac{78}{\operatorname{ch}^2(ax)} + 49 \right) - \frac{9a^6 (\operatorname{sh}(3ax) - 9 \operatorname{sh}(ax))^2}{4 \operatorname{ch}^6(ax)}$$

и

$$X^2 = \lambda(\lambda - a^2)^2(\lambda - 4a^2)^2(\lambda - 9a^2)^2.$$

Вычисление функций f , h , g приводит к следующим результатам:

$$f(x) = 6a \operatorname{th}(ax), \quad g(x) = \frac{a^2(11 \operatorname{ch}(2ax) - 19)}{2 \operatorname{ch}^2(ax)},$$

$$h(x) = \frac{3a^3(\operatorname{sh}(3ax) - 9 \operatorname{sh}(ax))}{2 \operatorname{ch}^3(ax)}.$$

Преобразование Дарбу

Заметим, что знание выражений собственных функций оператора Шредингера позволяет с помощью метода преобразования Дарбу [5] строить новые, более сложные конечнозонные потенциалы, выражающиеся через элементарные функции.

Преобразованием Дарбу потенциала $u(x)$ называется следующее его преобразование [5]. Пусть функция $\psi_0(x)$ удовлетворяет уравнению (1) при некотором значении $\lambda = \lambda_0$. Тогда функция

$$\hat{\psi} = \psi' - \frac{\psi'_0}{\psi_0} \psi$$

также удовлетворяет уравнению (1), но с потенциалом

$$\hat{u}(x) = 2 \left(\frac{\psi'_0}{\psi_0} \right)^2 - u(x) - 2\lambda_0.$$

Рассмотрим для примера однофазный потенциал $u(x) = 2/x^2$ и функцию

$$\psi_0(x) = C_1 \frac{1+k_0x}{x} e^{-k_0x} + C_2 \frac{1-k_0x}{x} e^{k_0x},$$

где $k_0 = \sqrt{\lambda_0}$.

Вычисляя новую собственную функцию и новый потенциал, получаем ($k = \sqrt{\lambda}$).

$$\hat{\psi}(x, \lambda) = \frac{C_1 (k_0^2 - k^2 - k^2 k_0 x - k k_0^2 x) + C_2 e^{2k_0 x} (k_0^2 - k^2 + k^2 k_0 x - k k_0^2 x)}{C_1 (1 + k_0 x) + C_2 (1 - k_0 x) e^{2k_0 x}} e^{kx}$$

и

$$\hat{u}(x) = \frac{2k_0^2 (C_1^2 + 2C_1 C_2 e^{2k_0 x} (1 + 2k_0^2 x^2) + C_2^2 e^{4k_0 x})}{(C_1 (1 + k_0 x) + C_2 e^{2k_0 x} (1 - k_0 x))^2}. \quad (21)$$

Спектральная кривая потенциала (21) задается уравнением

$$X^2(\lambda) = \lambda^3 (\lambda - \lambda_0)^2,$$

т.е. потенциал (21) является двухзонным рационально-показательным потенциалом.

Заметим, что в случае $\lambda_0 = 0$ общее решение уравнения (1) с потенциалом $u(x) = 2/x^2$ определяется другой формулой:

$$\psi_0(x) = \frac{C_1}{x} + C_2 x^2.$$

Положив $C_1 = -A^3 C_2$, имеем

$$\psi_0(x) = C_2 \frac{x^3 - A^3}{x}.$$

Применяя преобразование Дарбу, получаем следующие выражения для собственной функции и потенциала:

$$\hat{\psi}(x, \lambda) = \frac{k^2 x^3 - 3kx + 3x - k^2 A^3}{A^3 - x^3} e^{kx}$$

и

$$\hat{u}(x) = \frac{6x(2A^3 + x^3)}{(A^3 - x^3)^2}. \quad (22)$$

Уравнение спектральной кривой потенциала (22) имеет вид

$$X^2(\lambda) = \lambda^5,$$

т.е. потенциал (22) является изоспектральной деформацией двухзонного потенциала $u(x) = 6/x^2$, который можно получить из потенциала (22), положив $A = 0$. Вместе с тем потенциал (22) не может быть получен из потенциала (21) предельным переходом $\lambda_0 \rightarrow 0$.

Библиографический список

1. *Whittaker, E. T.* Course of Modern Analysis / E. T. Whittaker, J. N. Watson. Cambridge University Press, 1915.
2. Appel IP. Comptes Rendus. XCI. 1880. P. 211–214.
3. *Algebro-Geometrical Approach to Nonlinear Evolution Equations / E. D. Belokolos [et al.] // Springer. Ser. Nonlinear Dynamics. 1994.*
4. *Matveev, V. B.* AKNS Hierarchy, MRW Solutions, P_n Breathers, and Beyond / V. B. Matveev, A. O. Smirnov // J. Math. Phys. 2018. Vol. 59. 091419. DOI: 10.1063/1.5049949.
5. *Matveev, V. B.* Darboux Transformations and Solitons / V. B. Matveev, M. A. Salle // Springer. Ser. Nonlinear Dynamics. 1991.

УДК 629.735.33

Д. С. Ооржак

студент кафедры инноватики и интегрированных систем качества

В. М. Милова

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ QFD-МЕТОДОЛОГИИ К ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ УСЛУГЕ

Качество, как известно, является важнейшим свойством конкурентоспособности организации при производстве продукции и(или) оказании услуги и определяется удовлетворенностью потребителя. В целях выявления уровня качества продукции и его повышения разработано множество подходов, одним из которых является QFD-методология. Суть данной методологии заключается в построении матрицы дома качества, в которой отражаются структурированные преобразования основополагающих характеристик продукции, исходя из потребительских предпочтений.

Этапы построения структурирования функции качества:

1. Сбор и обработка информации («голосов» – требований потребителей).
2. Выявление факторов качества.
3. Приоритизация требований потребителей.
4. Определение уровня улучшения качества.
5. Вычисление весовых характеристик требований.
6. Построение дома качества:
 - 6.1. Анализ конкурентов benchmarking (правая стена).
 - 6.2. Построение матрицы «Характеристики качества».
 - 6.3. Выявление зависимости между «Запросами потребителей» и «Характеристиками качества» (фронтальная стена).
 - 6.4. Корреляционная матрица (крыша).
 - 6.5. Техническая матрица вкладов (подвал).

1. Сбор и обработка информации, полученной от потребителей

На основе проведенного опроса получены мнения потребителей в неформализованном виде, которые переведены в характеристики услуги (табл. 1)

Таблица 1

Мнения потребителей

«Голоса» потребителей	Требования потребителей
Интересные лекции	Вовлечение студентов в поиск решения
Объяснения на простых примерах	Выработка практических навыков на семинарах
Более комфортные условия обучения	Современная инфраструктура
	Возможность студентам выбирать дисциплины самостоятельно
	Лояльность преподавателей к свободному посещению
Дальнейшее трудоустройство и прохождение практик на предприятиях	Сотрудничество университета с организациями
	Наличие целевых мест для дальнейшего трудоустройства
Опытные преподаватели	Преподаватели-практики с хорошей теоретической подготовкой
	Создание обратной связи с руководством факультета

2. Выявление факторов качества

На втором этапе происходит структурирование требований. Для решения этой задачи был использован инструмент менеджмента качества – диаграмма Исикавы (рис. 1).

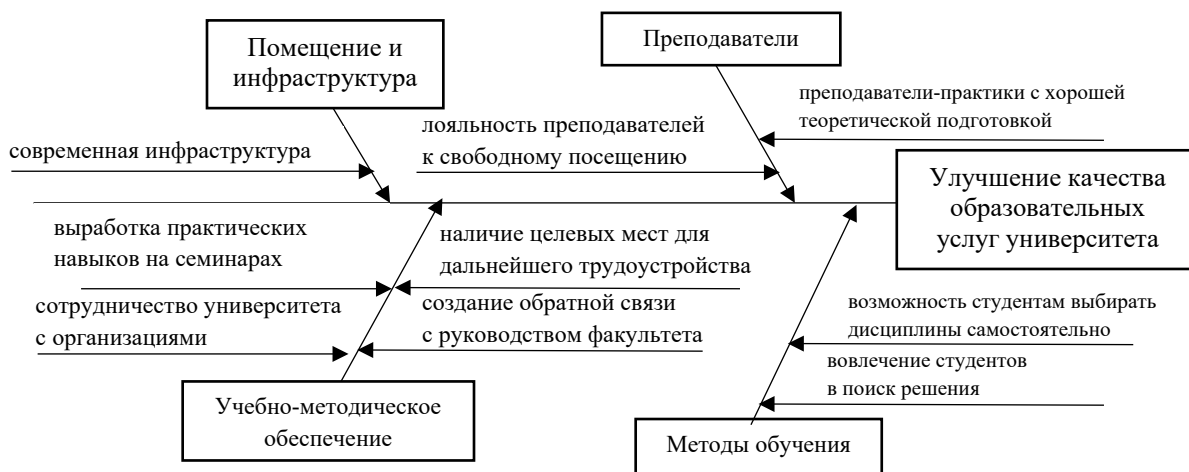


Рис. 1. Диаграмма Исикавы

3. Приоритизация требований потребителей

На третьем этапе студенты оценивают важность требований экспертным методом. Результат опроса представлен в табл. 2.

Таблица 2

Приоритизированные требования	
Требование	Приоритет, %
Выработка практических навыков на семинарах	17,23
Современная инфраструктура	17,08
Сотрудничество университета с организациями	15,55
Преподаватели-практики с хорошей теоретической подготовкой	14,77
Возможность студентам выбирать дисциплины	12,45
Наличие целевых мест для дальнейшего трудоустройства	11,05
Вовлечение студентов в поиск решения	10,90
Лояльность преподавателей к свободному посещению	0,52
Создание обратной связи с факультетом	0,45

4. Определение уровня улучшения качества

На следующем этапе определяются целевые значения показателей качества услуги (C_i), устанавливается степень удовлетворенности потребителей (B_i) и на этой основе вычисляется уровень улучшения (Y_i) качества по формуле (1):

$$Y_i = \frac{B_i}{C_i}, \quad (1)$$

где Y_i – уровень улучшения, B_i – степень удовлетворенности потребителя, C_i – показания цели.

Степень удовлетворенности определяется по порядковой шкале:

Крайне неудовлетворенные	Неудовлетворенные	Удовлетворенные	Полностью удовлетворенные
0–24	25–49	50–74	75–100

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Результаты расчета уровня улучшения по формуле (1) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Уровень улучшения

Запрос потребителя	Степень удовлетворенности (B_i)	Цель (C_i)	Уровень улучшения (Y_i)
Выработка практических навыков на семинарах	31	80	0,39
Современная инфраструктура	26	65	0,4
Сотрудничество университета с организациями	5	75	0,07
Преподаватели-практики с хорошей теоретической подготовкой	75	80	0,94
Возможность студентам выбирать дисциплины	1	85	0,01
Наличие целевых мест для дальнейшего трудоустройства	40	80	0,5
Вовлечение студентов в поиск решения	68	70	0,97
Лояльность преподавателей к свободному посещению	60	70	0,86
Создание обратной связи с факультетом	70	75	0,93

5. Вычисление весовых характеристик требований

На последующих этапах вычисляются весовые характеристики для каждого требования по формуле (2):

$$Z_i = I_i \times Y_i \times S_i, \quad (2)$$

где Z_i – вес строки; I_i – относительная значимость для потребителя; Y_i – уровень улучшения (из табл. 2); S_i – точка продаж.

Точка продаж выставляется экспертной командой: $S = 1$ – продаж нет; $S = 1,2$ – частичные продажи; $S = 1,5$ – наибольшие продажи.

Нормализованный вес строки \tilde{Z} рассчитывается по формуле

$$\tilde{Z} = \frac{Z_i}{\sum Z_i} \cdot 100 \quad (3)$$

Таблица 4

Вес строки

Требования	I_i	Y_i	S_i	Z_i	\tilde{Z} (%)
Выработка практических навыков на семинарах	17,23	0,39	1,5	10,08	16,43
Современная инфраструктура	17,08	0,4	1,2	8,20	13,37
Сотрудничество университета с организациями	15,55	0,07	1	1,09	1,77
Преподаватели-практики с хорошей теоретической подготовкой	14,77	0,94	1,2	16,66	27,16
Возможность студентам выбирать дисциплины	12,45	0,01	1	0,12	0,20
Наличие целевых мест для дальнейшего трудоустройства	11,05	0,5	1,5	8,29	13,51
Вовлечение студентов в поиск решения	10,90	0,97	1,5	15,86	25,86
Лояльность преподавателей к свободному посещению	0,52	0,86	1,2	0,54	0,87
Создание обратной связи с факультетом	0,45	0,93	1,2	0,50	0,82
			Сумма	61,34	100

Далее с помощью анализа конкурентов benchmarking полученные данные вписываются в таблицу, на основе строится график сравнения конкурентов (рис. 2) (правая сторона дома качества).

Оценка конкурентов

Запросы потреби- телей	Относи- тельная значимость	Оценка потреби- телей	Оцен- ка К1	Оцен- ка К2	Уровень улучше- ния	Точка про- даж	Вес стро- ки	Нормаль- ный вес строки
Выработка прак- тических навыков на семинарах	90	31	14	20	0,39	1,5	10,08	16,43
Современная ин- фраструктура	80	26	30	60	0,4	1,2	8,20	13,37
Сотрудничество университета с организациями	70	5	85	47	0,07	1	1,09	1,77
Преподаватели- практики с хоро- шей теоретиче- ской подготовкой	60	75	13	53	0,94	1,2	16,66	27,16
Возможность сту- дентам выбирать дисциплины	50	1	35	90	0,01	1	0,12	0,20
Наличие целевых мест для даль- нейшего трудо- устройства	40	40	10	60	0,5	1,5	8,29	13,51
Вовлечение сту- дентов в поиск решения	30	68	70	50	0,97	1,5	15,86	25,86
Лояльность пре- подавателей к свободному по- сещению	20	60	78	1	0,86	1,2	0,54	0,87
Создание обрат- ной связи с фа- культетом	10	70	30	67	0,93	1,2	0,50	0,82

Таким образом, оценка конкурентов позволяет понять, что надо улучшить, а где можно обойти конкурента на основе уже имеющегося преимущества.

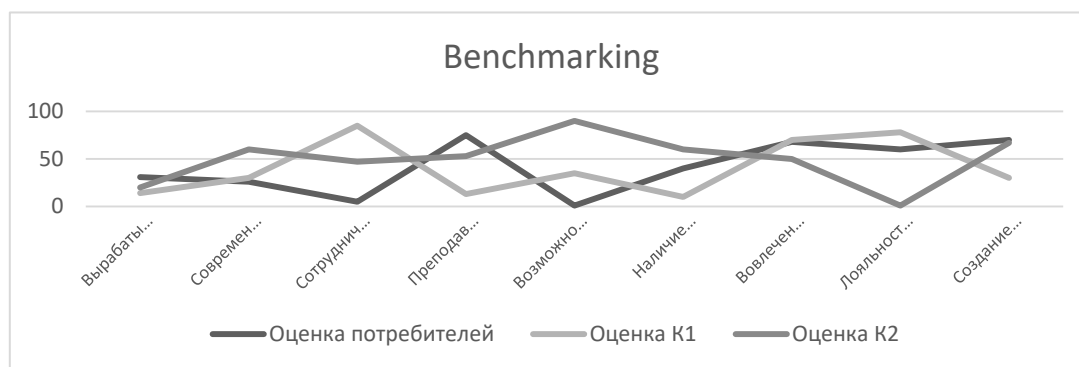


Рис. 2. График сравнения с конкурентами

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Построение матрицы «Характеристики качества». На основе требований потребителей выделяются характеристики, от которых зависят требования, представленные в табл. 6.

Таблица 6

Характеристики качества

№	Требование	Характеристика	Ед. измерения
1	Выработка практических навыков на семинарах	Время самостоятельной работы на занятии	%
		Количество кейсов за рабочую программу	шт.
		Обучение основам командной работы	ч.
		Занятие по использованию практических инструментов	ч.
2	Современная инфраструктура	Средний возраст преподавателей	лет
		Работа в современных условиях обучения	есть/нет
		Наличие современной базы данных	есть/нет
		Количество человек за одним компьютером	чел.
3 и 6	Сотрудничество университета с организациями, наличие целевых мест для дальнейшего трудоустройства	Количество целевых мест для поступающих	шт.
		Наличие встреч, собраний с представителями организаций	есть/нет
4	Преподаватели-практики с хорошей теоретической подготовкой	Средняя заработная плата преподавателей	руб.
		Наличие премий, путевок за отличную работу преподавателям	есть/нет
		Количество практических занятий	шт.
		Опыт преподавания по своей дисциплине	лет
5	Возможность студентам выбирать дисциплины	Количество дополнительных курсов	шт.
7	Вовлечение студентов в поиск решения	Наличие дополнительных баллов за ответ	шт.
		Количество занятий в виде игр	шт.
		Время перерыва	мин.
		Наличие нового программного обеспечения	есть/нет
8	Лояльность преподавателей к свободному посещению	Независимость/непредвзятость преподавателя/экзаменатора	есть/нет
9	Создание обратной связи с факультетом	Размер повышенных стипендий	руб.

С помощью табл. 7 определяются зависимости между «Запросами потребителей» и «Характеристиками качества» и строится корреляционная матрица (табл. 8).

Таблица 7

Символы влияния

Символ	Значение	Часто принимаемое значение
отсутствует	нет связи	0
–	слабая связь	1
=	наличие связи	3
+	сильная связь	9

Матрица зависимостей

Потребительские требования	Характеристики качества																				
	Время самостоятельной работы на занятии	Кол-во кейсов за раб. программу	Обучение основам командной работы	Занятия по использованию практических инструментов	Дополнительные баллы за ответ	Кол-во занятий в виде игр	Время перерыва	Новое программное обеспечение	Средний возраст преподавателей	Работа в современных условиях	Кол-во доп. курсов	Современная база данных	Кол-во чел. за 1 компьютером	Кол-во целевых мест для поступающих	Наличие встреч/собраний с представителями организаций	Средняя зарплата преподавателей	Премии/путевки преподавателям	Кол-во практических занятий	Опыт преподавания по своей дисциплине	Непредвзятость экзаменатора	Размер повышенных стипендий
Выработка практических навыков на семинарах	+		-		+										-			+			
Современная инфраструктура		-		+				+		+		+	-			-					-
Сотрудничество университета с организациями				+		-							+	+			+				
Преподаватели-практики с хорошей теоретической подготовкой	-	+		+		+		-	+							+	+	-	+		
Вовлечение студентов в поиск решения			+	-	+	+	-	-											-		
Возможность студентам выбирать дисциплины						-				+											-
Наличие целевых мест для дальнейшего трудоустройства			-						-				+	+				-			
Лояльность преподавателей		-						+							-		+				

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Потребительские требования	Характеристики качества																					
	Время самостоятельной работы на занятии	Кол-во кейсов за раб. программу	Обучение основам командной работы	Занятия по использованию практических инструментов	Дополнительные баллы за ответ	Кол-во занятий в виде игр	Время перерыва	Новое программное обеспечение	Средний возраст преподавателей	Работа в современных условиях	Кол-во доп. курсов	Современная база данных	Кол-во чел. за 1 компьютером	Кол-во целевых мест для обучающихся	Наличие встреч/собраний с представителями организации	Средняя зарплата преподавателей	Премии/путевки преподавателям	Кол-во практических занятий	Опыт преподавания по своей дисциплине	Непривязанность экзаменатора	Размер повышенных стипендий	
к свободному посещению																						
Создание обратной связи с руководством факультета			=				=	+	-	+				-		+		=				+

Корреляционная матрица иллюстрирует характер взаимосвязи между двумя факторами, который может быть положительным (\rightarrow) (с ростом одного фактора второй также увеличивается) или отрицательным (\leftarrow) (с ростом одного фактора второй уменьшается).

Построение крыши дома качества необходимо для обеспечения взаимной увязки различных инженерных характеристик, так как в процессе проектирования любого технически сложного изделия обеспечение высоких значений одних характеристик может привести к ухудшению значений других. Может быть и наоборот: обеспечение высоких значений одних характеристик приведет к улучшению значений других.

Значения вкладов представлены в табл. 9 и находятся на основе матрицы взаимосвязей, где связь перемножается с нормализованным весом строки (\bar{Z}).

По данным табл. 9 строится график (рис. 3), где обозначаются точки вкладов каждой характеристики качества. Все точки, которые уходят от средней линии вверх или вниз, это индикаторы – показатели характеристик качества, играющих ключевую роль при разработке продукции для удовлетворения запросов потребителей.



Рис. 3. Вклады на улучшение характеристик качества

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Таблица 9

Характеристики качества	Техническая матрица вкладов					
	Вес строки (%)	Вес строки	Вес строки (%)	Вес строки	Вес строки	Вес строки (%)
Потребительские требования						
Выработка практических навыков на семинарах	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	16,43
Современная инфраструктура	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	13,37
Сотрудничество университета с организациями	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	1,77
Преподаватели-практики с хорошей методической подготовкой	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	27,16
Вовлечение студентов в поиск решения	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,20
Возможность студентам выбирать дисциплины	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	13,51
Время самостоятельной работы на занятии	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	8,29
Кол-во кейсов за раб. программу	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,12
Обучение основам командной работы	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	1,09
Занятия по использованию практических инструментов	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	8,2
Дополнительные баллы за ответ	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	10,08
Кол-во занятий в виде игр	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	16,43
Время перерыва	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,08
Новое программное обеспечение	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,20
Средний возраст преподавателей	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	13,51
Работа в современных условиях	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	8,29
Кол-во доп. курсов	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	16,43
Современная база данных	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	1,77
Кол-во чел. за 1 компьютер	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	13,37
Кол-во целевых мест для поступающих	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,77
Наличие встреч/собраний с представителями организации	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,77
Средняя зарплата преподавателей	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	8,2
Премии/путевки преподавателям	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	27,16
Кол-во практических занятий	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	8,29
Опыт преподавания по своей дисциплине	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	27,16
Непродвзятость экзамена-гора	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	16,66
Размер повышенных стипендий	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	1,09

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Характеристики качества	Потребительские требования	1,33	1,59	0,57	2,82	90,75	1,9	0,25	1,18	1,6	1,49	1,08	0,77	0,38	1,54	0,005	1,54	1,63	0,64	1,54	1,39	1,82	0,52	0,21	61,34	100		
	Время самостоятельной работы на занятии		0,01																									
	Кол-во кейсов за раб. программу																											
	Обучение основам командной работы	0,16																										
	Занятия по использованию практических инструментов	0,48																										
	Дополнительные баллы за ответ																											
	Кол-во занятий в виде игр																											
	Время перерыва																											
	Новое программное обеспечение																											
	Средний возраст преподавателей																											
	Работа в современных условиях	0,16																										
	Кол-во доп. курсов																											
	Современная база данных																											
	Кол-во чел. за 1 компьютером																											
	Кол-во целевых мест для поступающих	1,43																										
	Наличие встреч/собраний с представителями орг. ЦПИ	1,43																										
	Средняя зарплата преподавателей																											
	Премии/путевки преподавателям																											
	Кол-во практических занятий	0,16																										
	Опыт преподавания по своей дисциплине																											
	Непредвзятость экзамена-topa																											
Размер повышений стипендий																												
Вес строки	15,86																											
Вес строки (%)	25,86																											
Вклады																												
Создание обратной связи с руководством факультета																												
Лояльность преподавателей к свободному посещению																												
Наличие целевых мест для дальнейшего трудоустройства																												

6. Построение дома качества

На основе пройденных этапов строится дом качества (рис. 4).

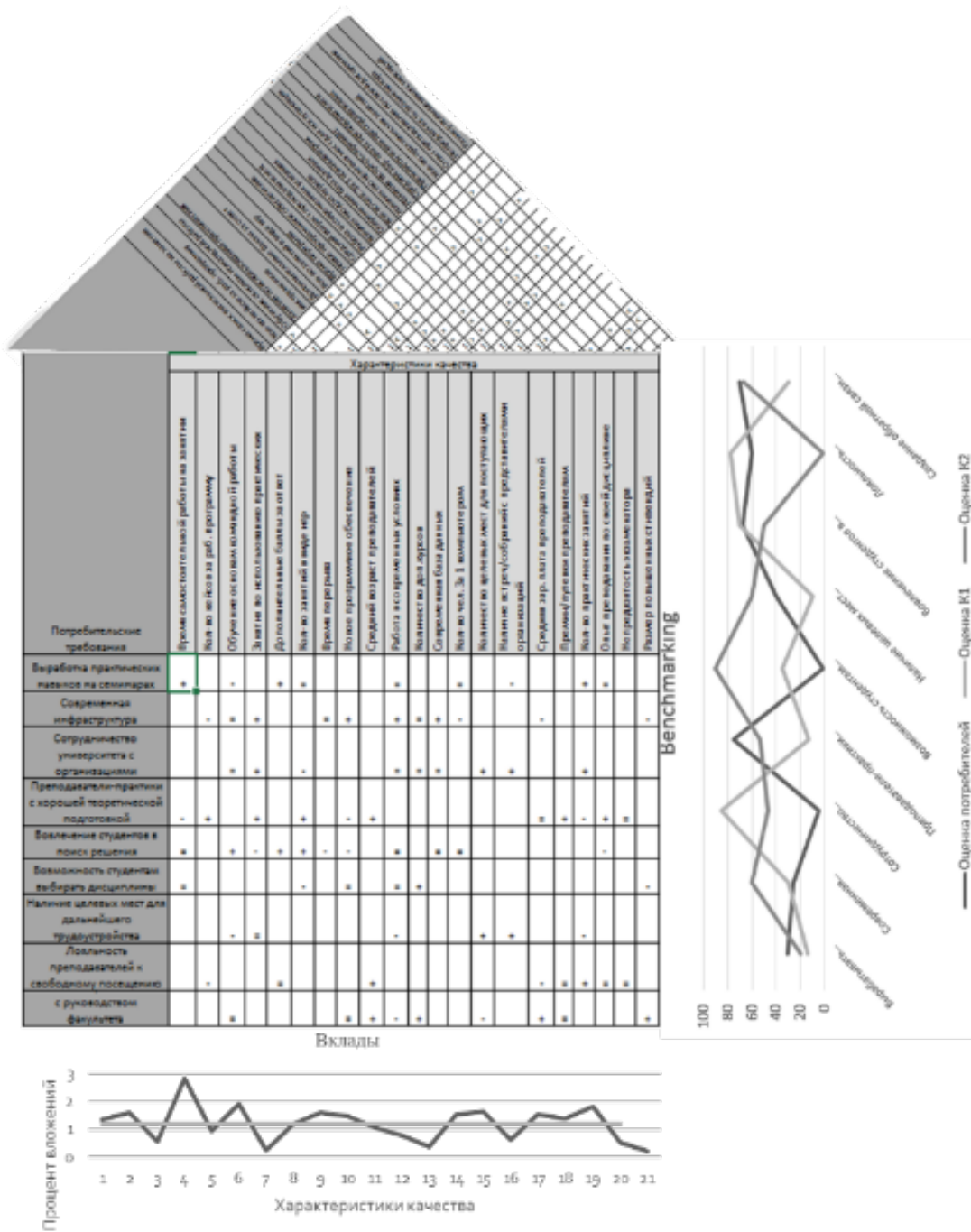


Рис. 4. Дом качества

В целом метод СФК позволяет не только формализовать процедуру определения основных характеристик разрабатываемого продукта с учетом пожеланий потребителя, но и принимать обоснованные решения по управлению качеством процессов его создания.

Таким образом, «развертывая» качество на начальных этапах жизненного цикла продукта в соответствии с нуждами и пожеланиями потребителя, удастся избежать корректировки параметров продукта после его появления на рынке, следовательно, обеспечивается высокая ценность и одновременно относительно низкая стоимость продукта (за счет сведения к минимуму непроизводственных издержек)

Библиографический список

1. Разработка «Дома качества» / А. О. Дуць [и др.] // Молодой ученый. 2014. № 9. С. 135–139. URL: <https://moluch.ru/archive/68/11517/> (дата обращения: 22.10.2018).
2. Дранишников, С. В. Методы менеджмента качества / С. В. Дранишников [и др.]. Красноярск: СФУ, 2008. С. 82.
3. Брагин, Ю. В. Путь QFD: проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей / Ю. В. Брагин, В. Ф. Корольков. Ярославль: Центр качества, 2003. 240 с.
4. Фролова, Е. А. Применение метода структурирования функции качества / Е. А. Фролова, Н. В. Маркелова. 2017. С. 27.

СОДЕРЖАНИЕ

Крылова В. Е., Константинова О. А., Алдохина Ю. А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ВХОДНЫМ ДАННЫМ.....	3
Шуманова Я. Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ НЕБОЛЬШИХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА	7
Зайцев П. С. ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ НА ПРОИЗВОДСТВАХ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ПРИМЕРЕ 3DSP1.....	12
Гущина Е. А. УДЕЛЬНОЕ ОБЪЕМНОЕ И ПОВЕРХНОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ И МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ.....	17
Кудряшова А. А. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИТ-Л-400 ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОБРАЗЦОВ.....	22
Бойко А. С. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ КОМПЕТЕНТНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ.....	26
Тужилкин А. А., Суханова Н. А., Султанова Ш. А., Виноградов Ю. Н. ИСПЫТАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПРОДУКЦИИ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ КУРСОВОМ И ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ.....	28
Большеевикова А. В. КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ.....	32
Чупринова О. В. МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОЛЬТАМПЕРМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ.....	36
Шилов Д. А., Около-Кулак П. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ..	38
Ямщиков А. А., Будзиньски В. К. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ШУМОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ.....	44
Данченко А. Ю. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТЕНДА МЕГЕОН-03000	49
Деева А. В. РОЛЬ МЕТРОЛОГИИ В КЛИНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКЕ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА	54
Пахомов В. А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ISO 9001-2015 И ISO/IEC 17025-2017 ПРИ АККРЕДИТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	56
Салтыков И. М. МОДЕРНИЗАЦИЯ, ПОВЕРКА, КАЛИБРОВКА УСТАНОВКИ МОДЕЛИ БВ-7660 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА ПОДШИПНИКА	58
Соколов Д. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В СРЕДЕ LABVIEW	61
Баронова Д. В., Арбузов В. Е., Борзенко А. Л. МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА ШУМА В ПАКЕТЕ LABVIEW	64
Абакшина М. В., Золотухин К. В., Наумов С. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАТИНОВОГО ТЕРМОРЕЗИСТОРА С ЦЕЛЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЕГО СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ	68
Николаева А. А. МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКОВ.....	73
Холодова Р. С. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА	77
Шаровагин В. Н. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА.....	79

Лившиц М. И. НОВЫЙ МЕТОД КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА U1233А И РАСЧЕТ ЕГО СТОИМОСТИ	81
Белик И. Д. АВИАЦИЯ И ЭКОЛОГИЯ.....	87
Матросова А. Р. РАЗРАБОТКА СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ НА КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	90
Баранова А. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ	91
Быстрова А. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ К ВВЕДЕНИЮ РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА ТБО	95
Зартдинова К. И., Ефимова П. Ю., Анисимов М. Э. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	100
Зинкина О. С. «МОРСКОЙ ОХОТНИК» (SEA HUNTER)	104
Ланда Н. В., Бойко Д. А. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ИЗОБРАЖЕНИЯМИ	106
Левчук Е. Ю. БИОПРИНТИНГ АУТОЛОГИЧНЫХ КЛЕТОК, КОЖНЫЙ 3D-БИОПРИНТЕР	111
Левчук Е. Ю. ТЕЛЕЖКИ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ CAPER	113
Новикова П. В. ПРОБЛЕМА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ПРИОНОВ	115
Сарбаева Ю. Д. ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ	120
Степанов И. И. ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ЧАСТОТОМЕРОВ	124
Фомина Е. А. ПОСТРОЕНИЕ ДОМА КАЧЕСТВА ДЛЯ КОНТУРОГРАФА	126
Ульянова П. П., Беланова А. А. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНОЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУКИ.....	128
Соколова К. Д., Груздев Д. А. ФУНКЦИЯ ТАКАГИ.....	131
Соловьев А. И., Токмакова Е. А. ТРОИЧНАЯ ЛОГИКА.....	133
Соловьев А. И., Токмакова Е. А. ПЕЧАТНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.....	136
Фарафонова А. Е., Якимова Д. А. ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И СТРУКТУРЫ МАЛЫХ ОДНОРОДНЫХ И ДВУХСЛОЙНЫХ СФЕРОИДОВ НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	139
Федосеева С. Н. PHP КАК ОДИН ИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ СОЗДАНИЯ САЙТА ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА	143
Ганиев В. Р. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ORM REDBEANPHP ПРИ РАБОТЕ С БАЗАМИ ДАННЫХ	147
Ельцова А. Д. К РАСЧЕТУ СМЕЩЕНИЯ БАЙЕСОВСКИХ ОЦЕНОК КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ.....	149
Михалев А. А., Кан И. А. ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ.....	151
Столетняя О. Р., Лысенко О. И., Малиновский Н. С. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ АСТЕРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ.....	155
Банিকেвич П. А., Якимова Д. А., Усольцева М. Е. ГИПОТЕЗЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР	157
Азаренок М. М., Яненко А. А., Юркова А. Д. ПЕРВАЯ ПОСАДКА НА ОБРАТНУЮ СТОРОНУ ЛУНЫ	158
Гарматий Н. И., Савкина К. А., Кулибаба М. И. МАГЕЛЛАНОВЫ ОБЛАКА.....	160
Истомина А. А., Зерский М. А., Ошуркова В. М. ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕТА К МЕРКУРИЮ .	162

Банিকেвич П. А., Тумаев А. А., Усольцева М. Е. ТУМАННОСТЬ ОРИОНА.....	164
Борисов С. Г., Оберемок Е. А. РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ ПРЕФОРМ 3D-ПЕЧАТИ.....	166
Вострикова Е. А. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ.....	170
Верховская А. И. НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ТРИЗ-ПЕДАГОГИКИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС НАЧИНАЯ С РАННИХ СТАДИЙ ОБРАЗОВАНИЯ	172
Ошуркова В. А. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	178
Смещук Е. А. ОБЩЕСТВО 5.0	185
Смещук Е. А. ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ	188
Громова О. С. ТЕХНОЛОГИИ СБОРА МУСОРА С ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ	195
Данилова Е. М. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ 4D-ПЕЧАТИ	201
Григорьев М. Д. КАЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ХИЩНИК – ЖЕРТВА».....	208
Картохина А. Ю. FUZZY-ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ	215
Плотникова Е. А. НЕЧЕТКИЕ АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ	218
Федотовская П. А. О СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЯХ ОПЕРАТОРА ШРЕДИНГЕРА С ВЫРОЖДЕННЫМИ КОНЕЧНОЗОННЫМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ	220
Ооржак Д. С. ПРИМЕНЕНИЕ QFD-МЕТОДОЛОГИИ К ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ УСЛУГЕ.....	229

Научное издание

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
И СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ
КАЧЕСТВОМ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

Молодежная секция

Сборник докладов
15 – 19 апреля 2019 г.

Ответственные за выпуск:
доктор технических наук, профессор *Е. Г. Семенова*;
кандидат технических наук, доцент *С. А. Назаревич*
Редактор *О. Ю. Багиева*
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 22.08.19. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 15,04. Уч.-изд. л. 14,6. Тираж 150 экз. Заказ № 208.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67