

СЕКЦИЯ 4. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 533.9.072

Е. К. ЖЕЛЕЗНОВА, Н. В. ЛЕОНОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗРЯДА С ВОДОЙ И ИЗМЕНЕНИЕ ЕЁ КИСЛОТНОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОБРАБОТКИ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

В работе рассмотрено изменение pH воды посредством обработки в низкотемпературной плазме при атмосферном давлении. Для проведения измерений использовались pH-метр и осциллограф с пассивным высоковольтным щупом, результаты работы представлены в виде графиков.

В настоящее время большой практический интерес представляют разряды плазмы с жидкостью. Такие системы становятся не только популярным направлением для исследований, но и находят широкое применение в различных областях, таких как очистка сточных вод, разложение различных токсичных соединений, в плазменной медицине, для катализа химических реакций, получения наночастиц и др. [1; 2]. Плазменно-жидкостные системы просты, надежны и недороги в обслуживании. Существуют различные конфигурации плазменно-жидкостных разрядных систем, позволяющих производить обработку воды, использовать жидкость в качестве электрода или же использовать жидкость в виде диэлектрического слоя, например для систем с диэлектрическим барьерным разрядом [1; 2]. В нашем исследовании была разработана жидкостная ячейка, представленная на рисунке 1.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная система генерации плазмы диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении, состоящая из разрядной системы, системы подачи газа и системы электрического питания. Плазма в такой системе может формироваться как при прокачке рабочего газа (аргон) через разрядный промежуток системы, так и без него. Изображение жидкостной ячейки представлена на рисунке 1.

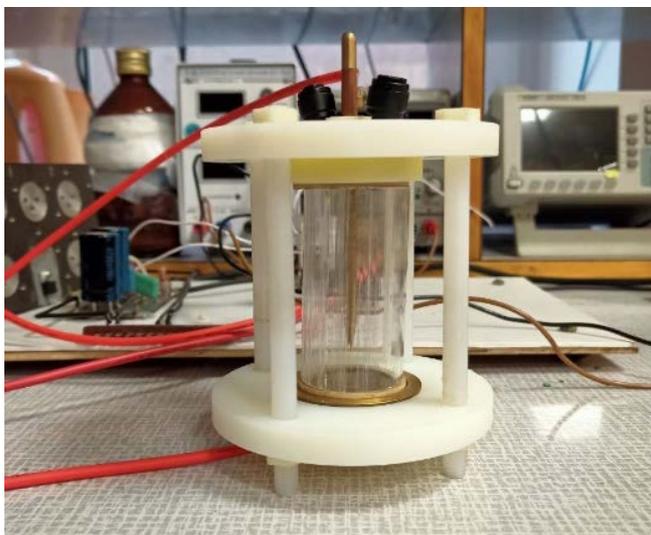


Рисунок 1 – Изображение ячейки для обработки жидкости

Исследование ячейки проходило в 2 этапа: выявление зависимости напряжения «зажигания» плазмы от расстояния между электродом и поверхностью воды и измерения величины pH от времени обработки. Эксперименты по выявлению напряжения «зажигания» проводились при токе питания 1 А, частотой прямоугольного импульсного сигнала 59,6 кГц и расходом газа 29 л/ч. Также в эксперименте расстояние между электродом и поверхностью воды варьировалось от 1 до 9 миллиметров при времени обработки 20 секунд. В эксперименте была использована вода водопроводная, солёная и дистиллированная воды. Результаты эксперимента показаны на рисунках 2–4.

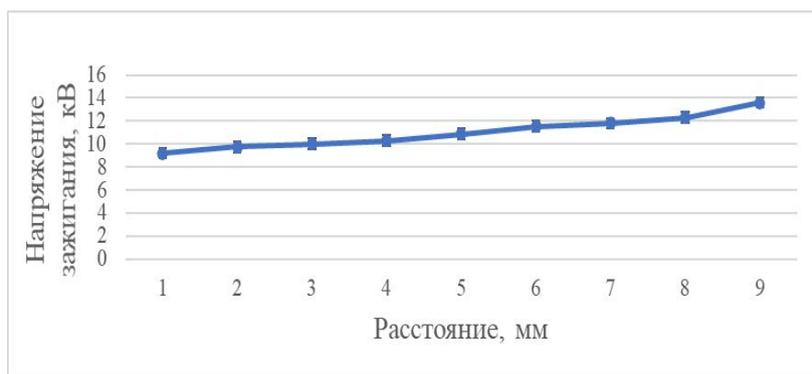


Рисунок 2 – Зависимость напряжения зажигания плазмы от расстояния d между дистиллированной водой и электродом

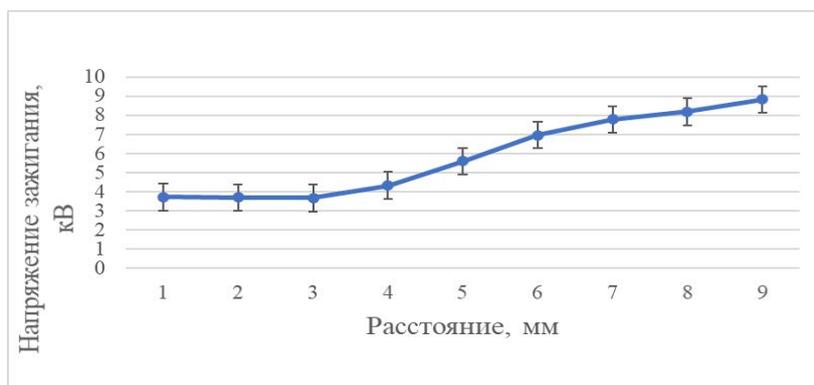


Рисунок 3 – Зависимость напряжения зажигания плазмы от расстояния d между водой и электродом

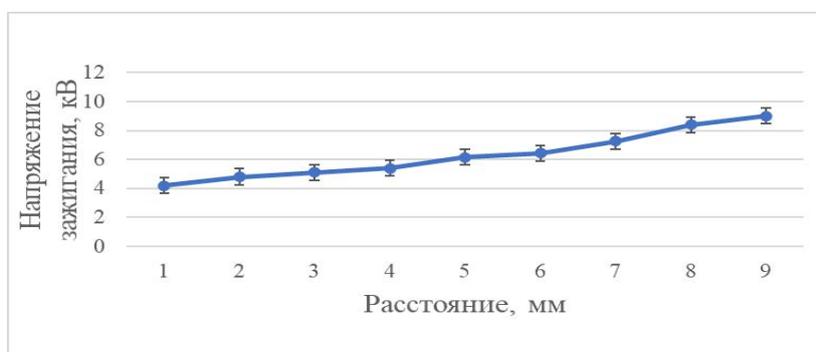


Рисунок 4 – Зависимость напряжения зажигания плазмы от расстояния между солёной водой и электродом

Исходя из трёх графиков, можно сделать вывод о том, что наибольшее напряжение требуется для зажигания плазмы в дистиллированной воде, что связано с тем, что из-за присутствия молекул NaCl среда становится проводящей и по свойствам напоминает электрод, поэтому с уменьшением разрядного промежутка с солёной водой напряжения пробоя плазмы минимально. Также, все три графика являются линейными и подтверждают вид зависимости кривых Пашена. Для дистиллированной воды оптимальным режимом зажигания плазмы является 6 мм для стабильной генерации стримерного разряда, для водопроводной воды – 3 мм, а для солёной – 3 мм. Для построения технологической разрядной системы предпочтительным является стримерный разряд, так как мощность больше и обработка происходит быстрее.

Результат исследования зависимости величины рН от времени обработки для дистиллированной воды с подачей аргона представлен на рисунке 5. Расстояние между электродом и поверхностью воды составляло 2 мм, а расход газа – 26 л/ч при мощности разряда 5,25 Вт.

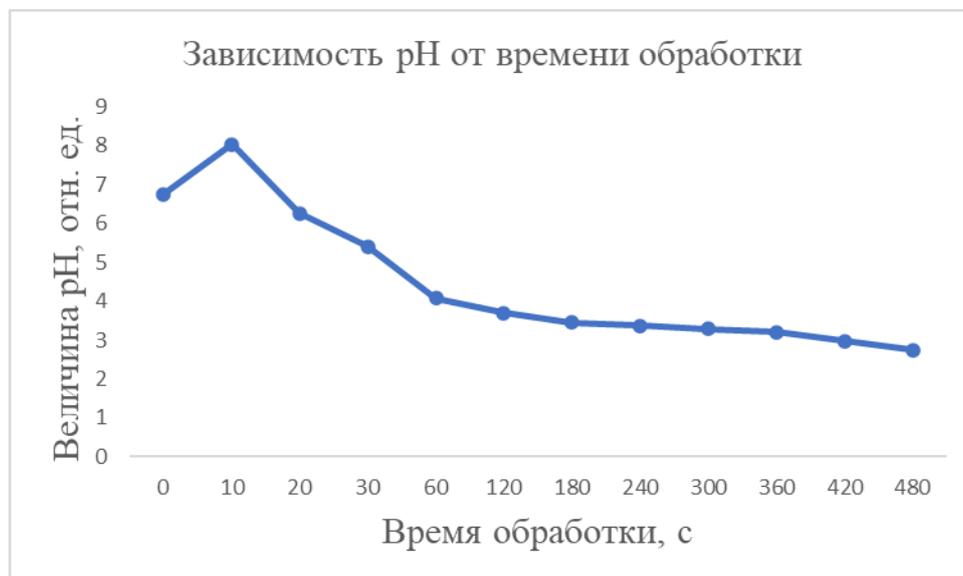


Рисунок 5 – График зависимости величины рН от времени с подачей аргона

Для данной зависимости можно сделать вывод о том, что при первичной обработке воды величина рН растёт, что связано с формированием активных форм кислорода, в то время как при более длительной обработке величина рН становилась всё более кислотной, что может быть связано с разложением воды и формированием молекул озона, что подтверждается соответствующим запахом.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что в настоящее время использование систем разрядов атмосферной плазмы с жидкостью является распространенным способом воздействия на воду, очищения воды от загрязнений и прочего. При увеличении расстояния между электродом и поверхностью воды необходимо также увеличивать напряжение между электродами для обеспечения пробоя воздушного промежутка между электродом и жидкостью. В течение обработки 10 секунд величина рН увеличивается, а в дальнейшем существенно снижается от 8,03 до 2,74.

Список литературы

1. Zeghioud, H. Review on discharge Plasma for water treatment: mechanism, reactor geometries, active species and combined processes / H. Zeghioud // Journal of Water Process Engineering. – 2020. – Vol. 38. – 12 p.
2. Study of an AC dielectric barrier single micro-discharge filament over a water film / P. Vanraes [et al.] // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8:10919. – 11 p.

The work on measuring pH value and plasma ignition voltage for water treatment in atmospheric pressure plasma is presented. The results of the experiment showed that the ignition voltage is the lowest in salty water for its conductive medium. After plasma treatment pH value changes, which is due to reactive oxygen species formation.

Железнова Екатерина Константиновна, магистрант 1-го курса факультета радиотехники и электроники, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь, ezh815@gmail.com.

Леонович Никита Викторович, младший научный сотрудник, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь, n.leonovich@bsuir.by.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры микро- и нанозлектроники, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь, kotov@bsuir.by.

УДК 37.016:53

А. В. КУРОВСКИЙ

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕЖПРЕДМЕТНЫХ СВЯЗЕЙ С БИОЛОГИЕЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ

Раскрыто понятие «межпредметные связи». Представлены методические рекомендации для учителя для подбора материала и для проведения урока.

Осуществление межпредметных связей помогает формированию у учащихся цельного представления о явлениях природы и взаимосвязи между ними, делает знания практически более значимыми и применимыми, это помогает учащимся применить те знания и умения, которые они приобрели при изучении одних предметов, использовать при изучении других предметов, дает возможность применять их в конкретных ситуациях, при рассмотрении частных вопросов, как в учебной, так и во внеурочной деятельности, в будущей производственной, научной и общественной жизни выпускников.

В педагогической литературе имеется более 30 определений категории «межпредметные связи», существуют самые различные подходы к их педагогической оценке и различные классификации. Одним из более полных определений является следующее: *межпредметные связи* есть педагогическая категория для обозначения синтезирующих, интегративных отношений между объектами, явлениями и процессами реальной действительности, нашедших свое отражение в содержании, формах и методах учебно-воспитательного процесса и выполняющих образовательную, развивающую и воспитывающую функции в их ограниченном единстве [2].

Одна из главных задач обучения физике – это развитие у учащихся представлений о современной физической картине мира, которая в свою очередь является частью научной картины мира. Развитие представлений о современной научной картине мира, можно осуществлять только на межпредметной основе, так как каждый предмет вносит свой определенный вклад в решение данной проблемы

На уроках физики реализация связи между физикой и биологией должна быть осуществлена не за счет использования случайных примеров и фактов, а за счет того, что учитель обеспечивает связь знаний, которые были получены в результате изучения разных учебных дисциплин. В процессе изучения у учащихся должны возникать и развиваться межпредметные ассоциации.

Установка связи во время преподавания возможна только при таком условии, когда учитель обладает достаточным дидактическим материалом, который дает возможность для раскрытия основных направлений осуществления связи физики с биологией. Такой дидактический материал обязан обеспечить систему интегрированных знаний, которые разворачиваются перед учащимися в определенной последовательности. Именно поэтому следует найти оптимальную пропорцию между объемами общеобразовательных и биофизических материалов. Физика и биология, как и любой учебный предмет, рассматривают в явлениях природы только определенные группы свойств. Эти свойства составляют предмет изучения соответствующих этим школьным предметам наук.

У всех природных тел, живых организмов проявляются разнообразные механические, тепловые, электрические, оптические и радиоактивные свойства. Благодаря этому, биофизический материал можно использовать при изучении любого раздела курса физики. В разделе «Механика» учащимся можно рассказать про особенности динамики движения живых организмов, в разделе «Электромагнитные волны и оптика» дать представление о том, как функционирует зрение человека и животных и т.п.

При подборе материала для плана урока межпредметные связи физики с биологией на уроках физики можно руководствоваться следующими *методическими рекомендациями*:

1. При использовании биофизического материала следует принимать во внимание логику каждого раздела физики. В большинстве случаев, биологический материал следует разделить на отдельные части, которые будут соответствовать темам уроков по физике.

Если будет отсутствовать связь с программным материалом, то может возникнуть ситуация, в которой важные биофизические вопросы будут выглядеть выдуманными, неважными, а также они будут оттеснять основное содержание и приведут к перегрузке учащихся.

2. Биофизический материал должен содержать теории и положения, которые считаются общепризнанными.

Объяснять приводимые факты и явления нужно с точки зрения теорий, которые приняты современными биологическими и физическими науками. Особенно следует обратить внимание на точность формулировок и правильность терминологии, которые используются во время обучения.

3. Биофизические факты должны быть верны как с физической точки зрения, так и с биологической.

Показ аналогий между живой природой и техникой, а также возможности копирования «сооружений» живой природой не должно быть целью сделать биофизические науки для всех обучающихся профильными науками, но это призвано привить интерес учащихся к этим областям знаний.

Очень важно в преподавании физики в связи с биологией поднимать вопросы вредных факторов физики и техники на окружающую среду, а также следует обсуждать бережное отношение к природе и ее объектам.

4. Биофизический материал должен быть простым и понятным для усвоения и не приводить к перегрузке учащихся.

Для осуществления принципа доступности биофизического материала должны быть выполнены некоторые требования: Биофизический материал должен соответствовать возрасту учащихся и их соответствующей возрасту подготовке по физике и биологии. Должно быть соответствие методам изучения каждой темы по физике, а также времени, которое отводится на ее изучение. Биофизический материал, который используется на уроках физики, не должен содержать терминологии, которую учащиеся не знают и которая несвойственна данной дисциплине.

5. Биофизический материал должен развивать естественнонаучное мышление и формировать научное мировоззрение учащихся.

При правильном отборе, биофизический материал должен формировать у учащихся представление о единстве окружающей их природе, о том, что изучаемые ими физические законы объективны.

6. Биофизический материал должен обеспечивать как обобщение, так и конкретизацию естественнонаучных понятий.

При составлении плана урока межпредметные связи физики с биологией на уроках физики можно руководствоваться следующими *методическими рекомендациями*:

1. Формирование целостного представления. Учитель должен стремиться представить материал таким образом, чтобы ученики видели взаимосвязи между различными явлениями и концепциями в природе. Использование примеров и задач, которые позволяют ученикам увидеть, как знания из различных предметов переплетаются и применяются на практике.

2. Применение знаний в различных контекстах. Учитель должен демонстрировать, как полученные знания и умения могут быть применены не только в учебной среде, но и в реальной жизни. Создание ситуаций и примеров, которые помогают ученикам увидеть практическую ценность усвоенного материала.

3. Учёт различных подходов и определений. Учитель должен быть гибким и открытым к различным подходам и определениям межпредметных связей. Поддержка разнообразия мышления и индивидуальных способностей учеников.

4. Развитие представлений о современной научной картины мира. Использование интерактивных методов, демонстраций и практических заданий для объяснения современных научных концепций и их связи с различными учебными предметами. Поощрение критического мышления и исследовательского подхода к изучению науки.

5. Использование биофизического материала. Адаптация биологических примеров и фактов таким образом, чтобы они были взаимосвязаны с учебным материалом по физике. Поддержка активного участия учеников в процессе обсуждения и анализа биофизических явлений.

6. Доступность материала и его соответствие уровню подготовки учеников. Выбор методов и объяснений, которые соответствуют возрасту, уровню понимания и предыдущему опыту учеников. Предоставление дополнительных материалов и ресурсов для тех учеников, которые нуждаются в дополнительной поддержке или расширении своих знаний.

7. Формирование естественнонаучного мышления. Стимулирование учеников к анализу, сравнению и обобщению информации о природных явлениях. Проведение уроков в форме дискуссий, лабораторных работ и проектов, которые требуют от учеников применения научного метода мышления.

Итак, учитель должен стремиться создать структурированные и интерактивные уроки, которые способствуют формированию целостного видения мира учениками, развивают их умение применять знания в различных ситуациях и стимулируют интерес к науке.

The concept of interdisciplinary connections is revealed. Methodological recommendations for teachers for selecting material and conducting a lesson are presented.

Куровский Артур Валентинович, студент 4-го курса физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, artur.kurovski@gmail.com.

Научный руководитель – *Харазян Оксана Гагиковна*, кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, harazyn.og@grsu.com.

УДК 373.51

М. П. МАМЧИС

ИНСТРУМЕНТ «РАБОЧИЙ ЛИСТ» НА УРОКЕ ПО ТЕМЕ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК» В 10 КЛАССЕ

Дети усваивают школьную программу с различной степенью интенсивности. Одни более склонны к предметам гуманитарного профиля, другим легче даются точные дисциплины. Эти различия необходимо сглаживать в процессе обучения. В настоящее время одной из основных образовательных задач, решаемых школой, является обучение учащихся работе с различными источниками информации, формирование компетенций различного уровня, развитие функциональной грамотности учащихся. Возможным решением этих проблем, способом реализации индивидуального подхода, формой организации познавательной деятельности на уроке может стать применение рабочих листов.

Современный урок должен быть привлекательным и содержательным для обучающихся с разными образовательными способностями, разным уровнем интеллектуального и личностного развития. Задача учителя состоит в том, чтобы создать условия практического овладения материалом для каждого учащегося, выбрать такие методы обучения, которые позволили бы каждому ученику проявить активность, творчество, активизировать познавательную деятельность учащегося в процессе обучения с учетом способностей, уровня обученности, склонностей.

Целью работы является разработка приемов организации образовательного процесса на уроках физики в 10 классе на основе использования инструмента «рабочий лист» для формирования функциональной грамотности учащихся.

Рабочий лист – это одноразовое дидактическое пособие на печатной основе, применяемое на небольшом отрезке учебного процесса (уроке), обязательным элементом которого выступают учебные задания с требованием ответа в специально созданных формах (заготовках).

Рабочие листы позволяют решить следующие задачи:

- учет особенностей класса, уровня подготовки каждого ученика;
- включение заданий разного уровня и вида;
- интеграция материала;
- вовлеченность каждого ученика в активную деятельность;
- повышение концентрации внимания обучающихся на изучаемом материале;
- облегчение запоминания материала за счет активизации всех видов памяти;
- возможность проработать материал дома (в т. ч. в процессе дистанционного обучения).

Все эти особенности рабочего листа делают его эффективным способом организации учебного процесса на уроках физики. Особенно актуально использование данного инструмента в условиях дистанционного обучения (например, работа с олимпиадниками). «Рабочий лист» позволяет осуществлять обучение на расстоянии без непосредственного контакта между учителем и обучающимся.

Для того чтобы быть успешным в обучении, учащийся должен уметь работать с информацией: находить её, отделять нужное от ненужного, проверять факты, анализировать, обобщать и перекладывать на собственный опыт. Такой навык формируется на каждом из предметов.

Анализ имеющегося дидактического материала по разделу «Электродинамика» для 10 класса показал, что готовые задания, которые развивают функциональную грамотность учащегося не представлены в сборниках задач и упражнений. Это связано с тем, что их разработка достаточно сложна, в ней нужно учесть много факторов. Задания должны быть не только привязаны к реальности, но и соответствовать возрасту учащихся и их когнитивным особенностям. Они должны быть системными, близки их опыту и окружению, содержать много фактов – в том числе и тех, которые, возможно, не понадобятся школьнику для ее решения, но будут интересны в принципе.

Было проведено анкетирование учителей физики об их знакомстве с таким инструментом учебной деятельности на уроках, как рабочий лист. Результаты анкетирования представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Результаты анкетирования учителей

В опросе приняло участие 15 педагогов со стажем работы 1–30 лет. Были заданы следующие вопросы:

1. Знакомы ли вы с инструментом «рабочий лист»?
2. Имеете ли вы опыт составления рабочих листов к урокам разных типов?
3. Хотели бы вы иметь готовое методическое обеспечение уроков на основе рабочих листов?

Как видно из данных, представленных на рисунке 1, многие учителя знакомы с таким инструментом, как рабочий лист, однако опыт его применения непосредственно на уроках имеют лишь 25 %. Подавляющее большинство педагогов хотели иметь в своей методической копилке разработки уроков на основе рабочих листов.

Таким образом, было показано, что вопрос разработки и применения рабочих листов является актуальным как среди учителей, так и среди учащихся. Рабочий лист является средством формирования и развития функциональной грамотности учеников, что позволяет в полной мере выполнить требования по повышению качества обучения в учреждениях общего среднего образования.

Далее представлен рабочий лист к уроку по теме: «Электрический ток».

ТЕМА УРОКА: «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК».

ЗАДАНИЕ 1

Повторяем пройденное.

Несколько заряженных одинаковых шариков q_1 , q_2 и q_3 приводят в контакт, после чего на них остаются заряды q'_1 , q'_2 и q'_3 . Заполните таблицу.

№	q_1	q_2	q_3	q'_1	q'_2	q'_3
1		$7q$	$-2q$	$4q$		$4q$
2	$-6q$	$5q$			$2q$	
3	$9q$		$9q$			0

ЗАДАНИЕ 2

Изучаем новый материал.

Заполните пропуски.

Электрический ток – упорядоченное (направленное) движение _____.

Для создания и поддержания электрического тока в проводнике необходимо наличие свободных _____ и источника тока.

Источник тока – устройство, способное поддерживать необходимое напряжение и обеспечивать упорядоченное движение _____ во внешней цепи.

В любом источнике тока происходит превращение какого-либо вида энергии в _____ энергию.

Источник тока имеет два полюса (т. е. клеммы электрода), обозначенные «+» и «-».

В качестве _____ используются: гальванический элемент (обычная батарейка), аккумулятор, термопара, генератор, электрофорная машина, фотоэлемент и др.

_____ – скалярная физическая величина, численно равная заряду, прошедшему через поперечное сечение проводника за единицу _____.

ЗАДАНИЕ 3

Решение задач.

Соедините стрелочками равные значения силы тока, записанные в стандартном виде и записанные с помощью кратных и дольных приставок.

$1,2 \cdot 10^{-3} \text{ A}$	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ A}$	$1,2 \cdot 10^5 \text{ A}$	$1,2 \cdot 10^{-2} \text{ A}$	$1,2 \cdot 10^4 \text{ A}$
12 мА	120 кА	1200 А	1,2 мА	12 мкА

ЗАДАНИЕ 4

Решение задач.

Заполните таблицу, где q – заряд, прошедший в проводнике за промежуток времени Δt при поддерживаемой в проводнике силе тока I .

I	5,0 А	2,0 А		0,25 А	0,40мкА	
Q		60 Кл	400 Кл		1,0 мКл	1,8 Кл
Δt	20 с		25 с	1,0 мин		1,0 ч

ЗАДАНИЕ 5

Закрепление и повторение пройденного.

Заполните пропуски.

Электрическая цепь – совокупность устройств и элементов, предназначенных для протекания _____.

Обязательными элементами электрической цепи являются _____, нагрузка (потребитель электрической энергии), ключ и соединительные провода.

Амперметр – прибор для измерения _____ в цепи. Включается в цепь последовательно.

Вольтметр – прибор для измерения _____ в цепи. Включается в цепь параллельно.

При включении амперметра и вольтметра необходимо соблюдать _____ и учитывать _____ предел шкал приборов.

В ходе исследования были показаны широкие возможности рабочих листов при формировании у учащихся различных компонентов функциональной грамотности (на примере темы «Электрический ток»).

Предложены различные варианты применения рабочих листов на таких этапах урока, как актуализация знаний, изучение нового материала, закрепление знаний. Также рабочие листы эффективны при обобщении и систематизации знаний.

Список литературы

1. Физика 10 класс : учеб пособие / А. В. Громыко [и др.] – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2020. – 264 с.
2. Миренкова, Е. В. Рабочий лист как средство организации самостоятельной познавательной деятельности в естественнонаучном образовании / Е. В. Миренкова // Ценности и смыслы. – 2021. – № 1 (71). – С. 115–130.
3. Файзуллина, С. Роль рабочего листа в управлении обучением / С. Файзуллина // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2019. – № 6–7 (50). – С. 94–96.

Pupils master the school curriculum with varying degrees of intensity. Some are more inclined towards humanities subjects, while others are more comfortable with exact disciplines. These differences need to be smoothed out during the learning process. Currently, one of the main educational tasks solved by the school is training students to work with various sources of information, developing competencies at various levels, and developing students' functional literacy. A possible solution to these problems, a way to implement an individual approach, and a form of organizing cognitive activity in the classroom can be the use of worksheets.

Мамчиш Марк Павлович, студент 4-го курса физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, mark.gensuray@gmail.com.

Научный руководитель – *Крупская Татьяна Константиновна*, магистр педагогических наук, старший преподаватель кафедры теоретической физики и теплотехники физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, krupskaya_tk@grsu.by.

УДК 539.21

А. В. ПЕТКЕВИЧ, А. Д. ЯРОМИЧ

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА ДЕФОРМАЦИЮ МЕТАЛЛОВ

Изучено влияние высокотемпературного отжига на механические свойства меди, стали и алюминия. С помощью сканирующей растровой электронной микроскопии был определен состав образцов. С помощью разрывной машины были изучены механические свойства образцов после отжига, рассчитаны коэффициент Юнга и модуль Пуассона.

В результате выплавки, прокатки, волочения и прессования в металлах и сплавах образуются внутренние напряжения, а также различные дефекты: поры, микротрещины и различные дефекты кристаллической решетки. Эти структурные изменения приводят к ускорению разрушения и износа деталей. Одним из наиболее простых и распространенных способов снятия внутреннего напряжения является нагрев металла и его дальнейшая рекристаллизация.

Объектом исследования являются проволоки из алюминия, меди и стали длиной 100 мм и диаметром: для меди – 2 мм; для алюминия – 3 мм; для стали – 3 мм. Перед проведением высокотемпературного отжига поверхность образцов зачищалась от покрытия лаком техническим ацетоном и обезжиривалась спиртом. Для

проведения эксперимента использовались образцы технической чистой медной проволоки (рис. 1а), стальной проволоки (рис. 1б) и алюминиевой проволоки (рис. 1в) состав которых исследовался с помощью рентгеноспектрального микроанализатора.

Для объективности исследования при помощи спектрального микроанализа был исследован состав каждого образца (рис. 1) а также был исследован рельеф поверхности до и после высокотемпературного отжига при различном увеличении, с использованием оптической микроскопии.

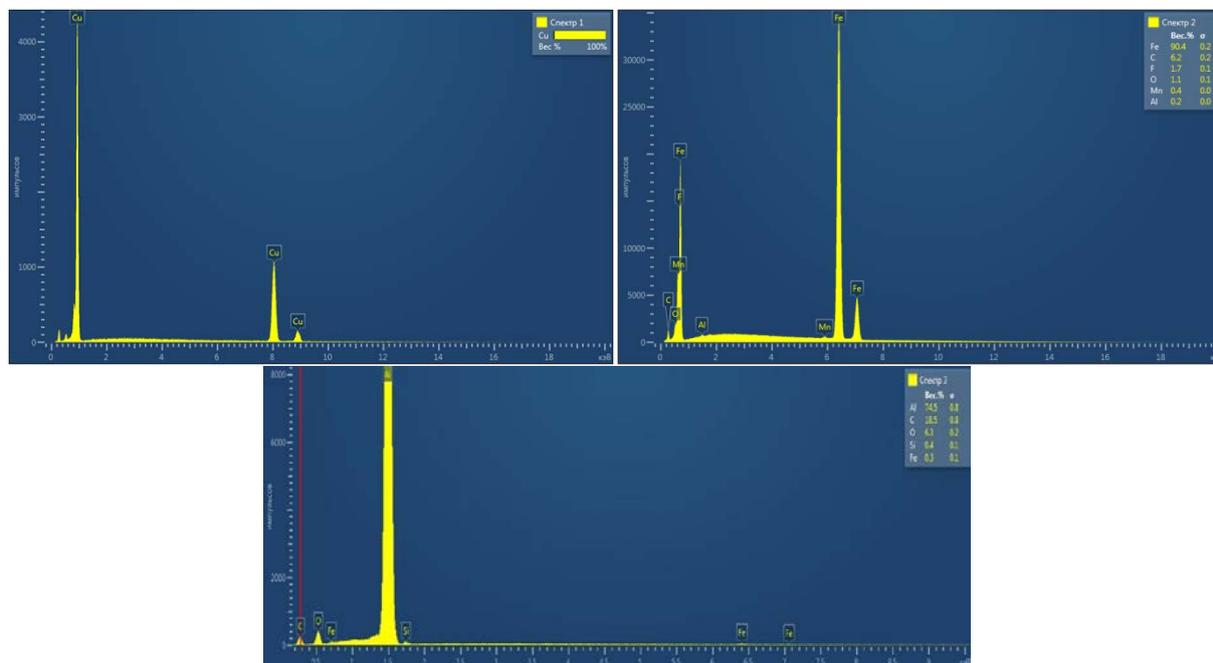


Рисунок 1 – Спектр характеристического рентгеновского излучения для а) меди; б) стали; в) алюминия

Образцы отжигались в муфельной печи в воздушной атмосфере при атмосферном давлении. Отжиг проводился в течение 30 минут при температурах от 100 до 600 °С. Точность выдерживания температуры составляла ± 5 °С. Охлаждение образцов проходило в печи в процессе ее остывания.

После остывания образцы были подвержены испытаниям на растяжение для выявления их упругопластических свойств. Для описания процессов связанных с растяжением металла были рассчитаны *механическое напряжение* (σ) – приложенная к телу сила (F), отнесенная к единице площади его поперечного сечения (S) (формула 1), и значение относительной деформации (формула 2). Исходя из полученных значений, были построены графики для каждого образца (рис. 2). Испытания на растяжение проводят с помощью универсальной машины, которая позволяет реализовать различные типы механических испытаний. Эксперимент проводился на универсальной испытательной машине Testometric M350-10CT с силой растяжения до 1000 кг [1].

$$\sigma = FS \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = (0.1) \quad (2)$$

где Δl – абсолютное удлинение (абсолютная деформация);

l_0 – начальная длина образца;

l_1 – длина образца после деформации.

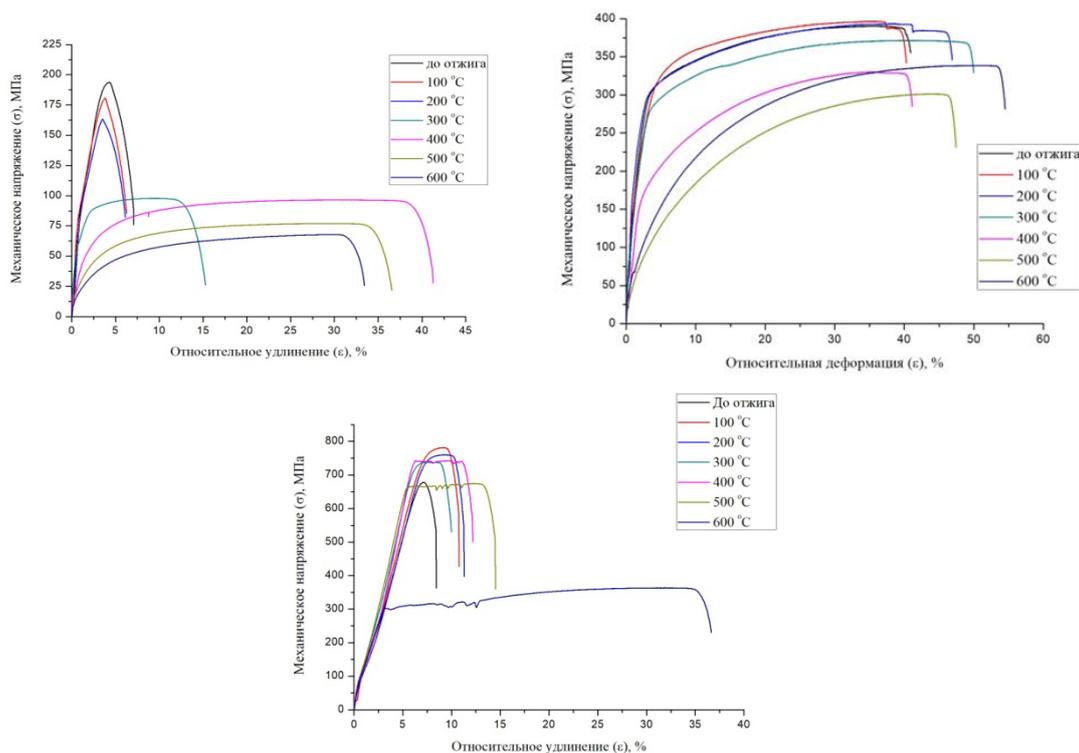


Рисунок 2 – Графики зависимости механического напряжения от относительной деформации для а) меди; б) стали; в) алюминия

Для описания упругих свойств образцов было использовано 2 параметра: модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Расчет коэффициента Пуассона проводился с использованием формулы (3). Модуль Юнга был рассчитан путем построения касательной к графикам зависимости механического напряжения от относительной деформации. Значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона приведены в таблице 1.

$$\nu = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \quad (3)$$

Таблица 1 – Упругие свойства металлов

Температура отжига, °C	Медь		Сталь		Алюминий	
	Модуль Юнга (E), 10 ¹¹ Па	Коэффициент Пуассона (ν)	Модуль Юнга (E), 10 ¹¹ Па	Коэффициент Пуассона (ν)	Модуль Юнга (E), 10 ¹¹ Па	Коэффициент Пуассона (ν)
0	1,08	0,55	2,03	0,42	1,11	0,12
100	0,91	0,59	1,73	0,46	1,10	0,12
200	1,45	0,57	1,40	0,38	0,87	0,08
300	0,88	0,52	2,25	0,43	1,06	0,11
400	0,87	0,42	2,33	0,36	0,85	0,15
500	0,23	0,45	2,00	0,54	0,52	0,18
600	0,35	0,67	1,72	0,85	0,49	0,20

Проанализировав все графики и таблицы, можно сделать вывод о том, что с увеличением температуры отжига, материал изменяет свои упругопластические свойства.

При отжиге меди с увеличением температуры материал увеличивает свою пластичность, однако происходит изменение стойкости материала к большой нагрузке. Уменьшение стойкости материала к нагрузке происходит только для образцов с температурой отжига ниже 600 °С. После этого значения прочность материала увеличивается вместе с пластичностью. Согласно работе [1] в ультрамелкозернистой меди модуль Юнга ведет себя аномально относительно табличного значения, равного $1,18 \times 10^{11}$ Па, а также относительно крупнозернистой меди. Наблюдается сначала незначительный рост, а затем резкое падение модуля Юнга при повышении температуры.

Изученная низкоуглеродистая стальная проволока содержала примесь фтора, марганца и алюминия, которые являются легирующими элементами и улучшают свойства стали. Фосфор оказывает положительное влияние на коррозионную стойкость, обрабатываемость и прочность сталей, но ухудшает их вязкость. Марганец он нейтрализует вредное влияние на свойства сталей серы и кислорода. Алюминий способствует повышению прочности, твердости, окалиностойкости и жаростойкости сталей [3]. Высокотемпературный отжиг стали приводит к нестандартному значению модуля упругости, что связано с примесными элементами, находящимися в материале. Максимальное значение коэффициента Юнга $2,33 \times 10^{11}$ Па. Увеличение температуры отжига приводит к медленному возрастанию, а затем к резкому падению механического напряжения, способного выдержать сталь, но приводит к увеличению удлинения (относительной деформации). Максимальная деформация происходит при температуре 600 °С, что связано с максимальным выходом углерода со стали и влияния примесных атомов, которые увеличивают пластичность.

Отжиг алюминия приводит к уменьшению механического напряжения с увеличением температуры, а примесные атомы и старение металла приводит к увеличению пластичности. Максимальное значение модуля упругости $1,11 \times 10^{11}$ Па проявляется в образце до высокотемпературного отжига. Увеличение температуры приводит к уменьшению данного значения.

Таким образом, в работе показано, что высокотемпературный отжиг меди, алюминия и стали изменяет упругие и пластические свойства, ухудшая с повышением температуры, на что может влиять рекристаллизация, примесные атому и движение нанодфектов.

Список литературы

1. Черенда, Н. Н. Методы механических испытаний материалов : пособие / Н. Н. Черенда, Н. И. Поляк, В. И. Шиманский. – Минск : БГУ, 2017. – 135 с.
2. Ерасов, В. С. Коэффициент Пуассона и Пуассонова сила / В. С. Ерасов, Е. И. Орешко // Авиационные материалы и технологии. – 2018. – В. 4 (53). – Ст. 79–86.
3. Что добавляют в сталь для прочности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mdmetalla.ru/stal/chto-dobavlyayut-v-stal-dlya-prochnosti.html>. – Дата доступа: 24.10.2023.

The work studied the effect of high-temperature annealing on the mechanical properties of copper, steel and aluminum. Using scanning electron microscopy, the composition of the samples was determined. Using a tensile testing machine, the mechanical properties of the samples after annealing were studied, and Young's coefficient and Poisson's modulus were calculated.

Петкевич Аlesia Вадимович, студент 1-го курса, Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь, ale22iandro@gmail.com.

Яромич Андрей Дмитриевич, студент 1-го курса, Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь, tverscaub@gmail.com.

Научный руководитель – *Шевелёва Виктория Викторовна*, инженер кафедры физики твёрдого тела и нанотехнологий физического факультета, магистр физики, Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь, vikulya-sheveleva@mail.ru.

УДК 539.21

А. С. ТЕРЕШКО, П. Л. ПЛЕСКАЦЕВИЧ

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЛАЗМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Al-Si СПЛАВА

Приведены результаты исследования влияния высокоэнергетического плазменного воздействия на трибологические свойства и микротвердость Al-Si сплава. Установлено, что воздействие импульсами плазмы приводит к уменьшению коэффициента трения, а также к увеличению микротвердости и износостойкости поверхностного слоя.

Сплавы Al-Si (силумины) получили широкое применение в различных отраслях промышленности, в частности для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Ранее поршни отливали из

тяжёлого и довольно хрупкого чугуна. Затем на смену пришли алюминиевые сплавы. Они имеют лучшую теплоотдачу и меньше весят, именно поэтому могут применяться на современных, более высокооборотистых моторах. Поршень ДВС подвержен естественному износу, особенно его верхняя часть, которая находится ближе к камере сгорания. Она принимает основную тепловую и физическую нагрузку. Сначала изнашиваются первое поршневое кольцо и канавка под него. Есть факторы, которые сокращают ресурс поршня двигателя, например, недостаток масла или его плохое качество. Также поршень может начать разрушаться из-за перегрева или появления детонации – взрывообразного процесса сгорания топлива, который сопровождается резкими скачками давления и повышением температуры в цилиндрах.

Увеличение работоспособности двигателей внутреннего сгорания напрямую связано с механическими и эксплуатационными свойствами сплавов, которые применяются для изготовления поршней. Одними из важнейших характеристик являются высокая износостойкость, достаточная твердость при нормальных и повышенных температурах, высокая усталостная прочность, низкий удельный вес и другие показатели [1]. Увеличение износостойкости и уменьшение коэффициента трения силуминов – актуальная цель современных исследований в этой области, ведь это крайне важно для оптимизации производственных процессов и повышения качества конечных изделий. Одним из методов повышения износостойкости силуминов может быть поверхностная обработка концентрированными потоками энергии. Основным преимуществом такой обработки концентрированными потоками энергии – лазерным лучом, ионными и электронными потоками и плазменной струей, по сравнению с традиционными методами упрочнения, (объемной и высокочастотной закалкой, химико-термической обработкой) является достижение более высоких значений твердости, износостойкости, теплостойкости, трещиностойкости благодаря образованию поверхностного упрочненного слоя с высокодисперсной структурой сверхскоростной закалки. Именно поэтому высокоэнергетический метод обработки материалов лёг в основу исследования.

Особое место среди концентрированных потоков энергии занимают компрессионные плазменные потоки (КПП), генерируемые магнетоплазменным компрессором [2]. Они отличаются относительно большим временем существования стабильного плазменного потока (порядка сотни мкс), что обеспечивает формирование относительно глубоких поверхностных слоев (несколько десятков мкм) с гомогенной дисперсной структурой [2–4]. Целью данной работы являлось исследование влияния воздействия импульсами КПП на трибологические и прочностные характеристики поршневого силумина.

В качестве объекта исследования были выбраны образцы силумина следующего состава: 12,6 ат. % Si; 0,5 ат. % Cu; 2,7 ат. % Mg; 0,3 ат. % Ni; 0,3 ат. % Fe; 0,2 ат. % Mn. Образцы были выполнены в виде цилиндров высотой 0,5 мм и диаметром 1,5 мм. Исследуемые образцы обрабатывались компрессионными плазменными потоками. Эксперимент проводился в режиме «остаточного газа» при заполнении камеры азотом, давление которого составляло 400 Па. Длительность плазменного разряда ~100 мкс. Плотность поглощенной энергии поверхностью образцов, согласно калориметрическим измерениям, составляла 35 Дж/см². Образцы обрабатывались тремя импульсами плазмы.

Для исследования рельефа поверхности использовался профилометр MarSurf SD 26. Управление профилометром и обработка данных осуществляется программным комплексом MarSurf XR 1. Исследование профилометром проводится особым – щуповым – методом. Поверхность образца буквально «ощупывается» специальной иглой, датчик передает сигнал о характере выявленных неровностей и преобразует механическую энергию в электрическую.

Трибологические испытания исследуемых образцов проводились по методу «палец-плоскость» в условиях сухого трения на установке УИПТ-01 при возвратно-поступательном движении индентора. Нагрузка на индентор составляла 0,2 Н. Микротвердость исследуемых образцов измерялась на микротвердомере MVD 402 Wilson Instruments по методике Виккерса в диапазоне нагрузок 0,1–0,5 Н.

Воздействие КПП на поверхность исследуемых силуминов приводит к изменению ее механических свойств. На рис. 1 представлены результаты изменения коэффициента трения до и после воздействия импульсами плазмы в зависимости от пути, пройденного индентором. Согласно полученным данным коэффициент трения исходного образца составляет ~0,75, а после прохождения 8 м пути индентором увеличивается до ~0,85. Возможным механизмом, объясняющим увеличение коэффициента трения в конце испытания, является абразивное изнашивание, которое сопровождается отделением включений кремния и интерметаллидных частиц, входящих в состав силумина, в зоне контакта.

Зависимость коэффициента трения от пути, полученная для обработанного КПП образца, можно условно разделить на 3 области. В область I коэффициент трения обработанного образца составляет ~0,30. После прохождения пути индентором в 2,5 м коэффициент трения линейно возрастает от ~0,3 до ~0,6 (область II), в области III, которая начинается после 7 м пути, пройденного индентором, коэффициент трения принимает значение ~0,64. Можно предположить, что столь значительное уменьшение коэффициента трения на начальном

этапе (область I) связано с наличием приповерхностного износостойкого слоя, сформированного вследствие формирования нитрида алюминия у самой поверхности образца. В ряде работ [2–4] отмечается возможность диффузии плазмообразующего вещества – азота – в приповерхностный слой, что приводит к формированию износостойких нитридных покрытий. Однако толщина таких покрытий не превышает 1 мкм. Дальнейшее испытание приводит к истиранию данного слоя и выходу на нижележащий модифицированный слой, коэффициент трения которого ниже чем у необработанного образца.

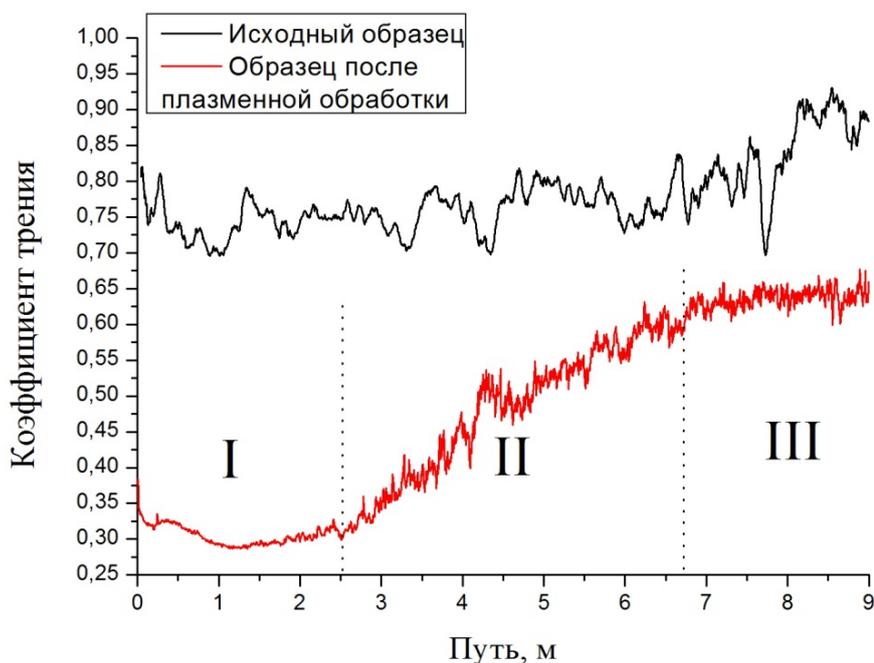
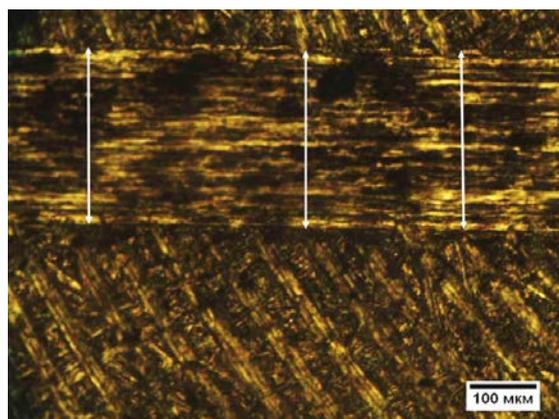


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента трения от пути исходного образца и образца, обработанного компрессионными плазменными потоками

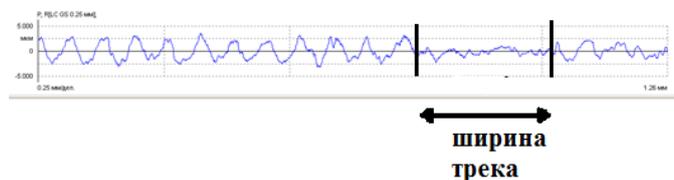
С помощью металлографического микроскопа была исследована ширины трека в исходном и обработанном образцах. Для исходного образца усредненная по десяти измерениям ширина трека износа составляет 257 мкм (рис. 2а), в то время как после обработанного – 243 мкм (рис. 2в). Для более детального изучения ширины и глубины трека износа были проделаны исследования рельефа поверхности с помощью профилометра. На поверхности исходного образца до трибологических испытаний имелись чередующиеся полосы от шлифовки образца, которые хорошо были видны и на металлографическом микроскопе. Усредненное значение R_a по десяти измерениям на различных участках образца составляет 1,303 мкм. Направление движение иглы профилометра по поверхности образцов, прошедших трибологические испытания, было перпендикулярно треку износа. Согласно полученным данным, в результате трибологических испытаний наблюдается истирание неравноностей полос от шлифовки (рис. 2б). Ширина трека износа, полученная методом профилометрии, совпадает с величиной полученной ранее при металлографических исследованиях в пределах погрешности и составляет 260 мкм. Шероховатость поверхности после воздействия плазмы уменьшается. Среднее арифметическое R_a для обработанного образца составляет 0,403 мкм. Согласно данным полученным с помощью профилометра материал силумина в результате трибологических испытаний под действием пластической деформации выдавливается на края трека износа (рис. 2г). Ширина трека износа, измеренная с помощью профилометра составляет 240 мкм.

Исследования микротвердости исследуемых образцов опказало, что воздействие импульсами КПП на исследуемый силумин позволяет увеличить микротвердость приповерхностного слоя. Микротвердость исходного силумина составляла $0,7 \pm 0,1$ ГПа, в то время как после воздействия – $1,6 \pm 0,1$ ГПа

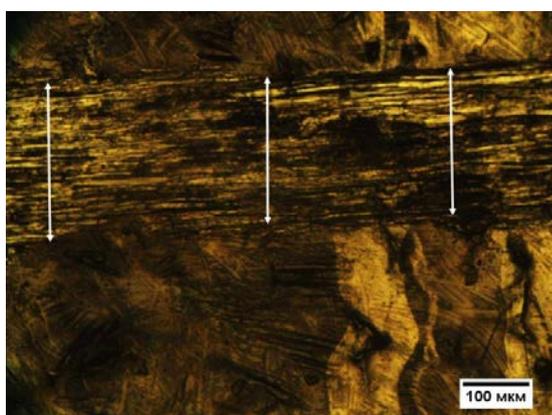
Таким образом, можно сделать вывод о том, что высокоэнергетическое плазменное воздействие на эвтектический силумин приводит к уменьшению коэффициента трения, увеличению износостойкости и увеличению микротвердости обрабатываемой поверхности.



а



б



в



г

Рисунок 2 – Фотографии треков износа с соответствующим профилем поверхности исходного (а, б) и обработанного КПП (в, г) образцов

Список литературы

1. Поршневые силумины : учеб. пособие / под науч. ред. В. К. Афанасьева. – Кемерово : Полиграф, 2005. – 161 с.
2. Асташинский, В. М. Модификация свойств материалов методами поверхностной плазменной металлургии / В. М. Асташинский // Наука и инновации. – 2017. – № 11. – С. 8–11.
3. Модификация материалов компрессионными плазменными потоками / В. В Углов [и др.]. – Минск : БГУ, 2013. – 241 с.
4. Модификация структуры и свойств эвтектического силумина электронно-ионно-плазменной обработкой / А. П. Ласковнев [и др.]. – Минск : Белорусская наука, 2013. – 287 с.

The results of tribological properties and microhardness investigation of the Al-Si alloy treated by high-energy plasma exposure are presented. It has been established that plasma pulses impact leads to a decrease in the friction coefficient, as well as an increase in microhardness and wear resistance of the surface layer.

Терешко Анастасия Сергеевна, Национальный детский технопарк, направление «Наноиндустрия и нанотехнологии, г. п. Домачево, Республика Беларусь, nestea.terik@gmail.com.

Плескацевич Полина Леонидовна, Национальный детский технопарк, направление «Наноиндустрия и нанотехнологии, Ганцевичи, Республика Беларусь, polinaaleonidovna@gmail.com.

Научный руководитель – *Бибик Наталья Викторовна*, научный сотрудник НИЛ физики ионно-плазменной модификации твёрдых тел, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь, bibiknv@bsu.by.

В. В. ШЕВЕЛЁВА

КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ СПЛАВОВ ЦИРКОНИЯ Zr-Cr, Zr-Cr-Nb И Zr-Cr-Cu, СФОРМИРОВАННЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

Изучено влияние легирующего элемента – хрома – на кинетику высокотемпературного окисления циркония. С помощью сканирующей растровой электронной микроскопии исследована морфология поверхности модифицированных образцов до и после отжига. Также определен элементный состав приповерхностных слоев после обработки. С помощью рентгеноструктурного анализа установлено образование оксидных фаз и твердого раствора.

В настоящее время сплавы на основе циркония [1–2] являются востребованными материалами, особенно в сфере ядерной энергетики, так как относятся к основным материалам для создания тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) водо-водяных энергетических реакторов 3-го поколения. В современном мире уровень потребления электрической энергии увеличивается, что приводит к необходимости увеличения мощности атомных станций. Изменение эксплуатации влияет на структурно-фазовые, механические и коррозионные свойства сплавов, возрастает потребность в усовершенствовании конструкционных материалов, с целью продлить топливную кампанию. Одним из наиболее перспективных методов модифицирования сплавов является легирование приповерхностного материала, приводящее к образованию новых фаз, проявляющих коррозионную стойкость [3].

На данный период активно изучаются сплавы циркония с добавлением хрома, меди и ниобия. Данные металлы являются стабилизаторами высокотемпературной β -фазы Zr при комнатной температуре, что способствует изменению физических свойств, таких как увеличение микротвердости и стойкости к диффузионному насыщению кислородом. Уже разработан и активно изучается новый класс циркониевых сплавов типа HANA (Nb 0,4–1,5 ат. %, Cu 0,05–0,1 ат. %, Cr 0,1–0,15 ат. %) [4], созданных в Корее с целью дальнейшего использования в качестве тепловыделяющих элементов.

В данной работе рассматривается кинетика окисления на воздухе образцов циркония, легированного хромом, медью и ниобием, и его влияние на коррозионную стойкость сформированных сплавов.

Объектами исследования в данной работе являлись образцы циркония размером 10×10 мм и толщиной 1 мм, легированные хромом, медью и ниобием с различными концентрациями в результате воздействия импульсными компрессионными плазменными потоками [5]. Плазменное воздействие осуществлялось на образцы циркония с предварительно нанесенными на поверхность покрытиями: хрома (толщина 2 мкм), системы хром-ниобий (толщина около 2 мкм), системы хром-медь (толщина около 2 мкм). Сформированные образцы с легированными слоями отжигались в муфельной печи в воздушной атмосфере при температуре 350 °С (температура пара в первом контуре ядерного) в течение 10 часов интервалами по 2 часа. В работе исследовались этапы формирования оксидных фаз на поверхности сформированных систем с большим интервалом времени с целью проследить за характером коррозионных процессов в долгосрочной перспективе – полное планируемое время отжига образцов будет равно 100 часам. Фазовый состав сформированных слоев до и после окисления исследовался на основе рентгеноструктурного анализа на дифрактометре Rigaku Ultima IV в медном излучении ($\lambda = 0,154178$ нм) в геометрии параллельных пучков. Элементный состав, а также морфология поверхности исследовались на сканирующем растровом электронном микроскопе LEO 1455VP с использованием микроанализатора Oxford Instruments X-Max^N 80.

Высокоэнергетическая импульсная обработка поверхности является одними из широко используемых методов обработки поверхности, приводящих к легированию материала заданными элементами, однако каждый из методов имеет свою особенность. Особенностью плазменного воздействия является импульсная передача высокой плотности энергии от плазменного потока поверхностному слою мишени, в качестве которой служили пластины циркония с предварительно нанесенными покрытиями хрома, ниобия и меди. В результате взаимодействия плазмы с поверхностью происходит нагрев образца циркония до сверхвысоких температур за относительно короткое время, сопоставимое с длительностью импульса, которая составляет 100 мкс. Такой нагрев переводит нанесенное металлическое покрытие и часть нижележащего слоя циркония в расплавленное состояние, их перемешивание в жидкой фазе и последующее затвердевание. Результатом такой обработки является создание на поверхности циркониевой пластины однородного сплава, концентрация элементов в котором определяется соотношением толщины расплавленных покрытий и глубины расплавленного слоя циркония, что, в свою очередь, зависит от плотности энергии, сообщаемой приповерхностному слою.

Согласно проведенному элементному анализу с помощью рентгеноспектрального микроанализа концентрация легирующих элементов варьируется в интервале 0,3–0,9 ат. % для хрома, 1,8–2,2 ат. % для ниобия и 0,5–0,7 ат. % для меди. Усредненные значения по образцу приведены в таблице 1. Необходимо учитывать, что, так как воздействие плазменными потоками происходит в остаточной атмосфере азота, это приводит его внедрению в образцы, средняя концентрация которого по всем образцам составляет около 30 ат. %.

Обработка поверхности высокоэнергетическими плазменными потоками проводилась при давлении остаточной атмосферы азота в камере магнитоплазменного компрессора 3 торр, напряжение на электроде составляло 4,0 кВ, расстояние от электрода до мишени было равно 10 см. Данные параметры воздействия привели к плавлению поверхностного слоя материала и его сверхскоростной кристаллизации, следовательно, на поверхности наблюдаются волнообразный рельеф (рис. 1 а).

Таблица 1 – Элементный состав (в ат. %) образцов после воздействия плазменными потоками

Номер образца	Zr	Cr	Nb	Cu	N
1	72,0	–	–	–	28,0
2	68,4	0,6	–	–	31,0
3	69,3	0,6	2,1	–	28,0
4	73,0	0,6	–	0,6	25,8

Образование такого рельефа вызвано быстрой кристаллизацией возмущенной поверхности, удерживаемой силами поверхностного натяжения. Однако при более детальном рассмотрении (рис. 1б) можно увидеть, что кристаллизация происходит неравномерно и на материале образуются два типа зеренной структуры: мелкие (рис. 1б – слева) и крупные (рис. 1б – справа). Под действием ударной силы от импульсного воздействия расплавленный слой растекался областям, не начавшим кристаллизацию, образуя линии движения расплава. Именно на данных линиях сформировалась крупная зеренная структура, что связано изменением скорости охлаждения расплава [6].

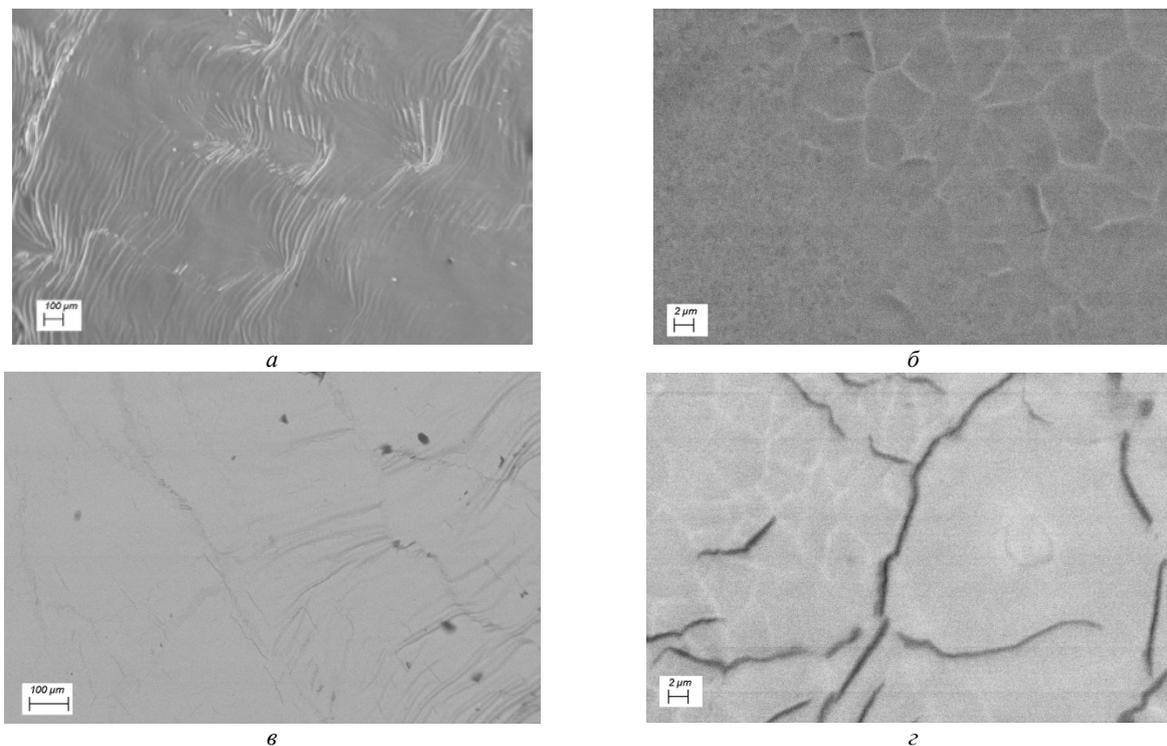


Рисунок 1 – РЭМ изображения поверхности сплавов циркония, сформированных воздействием плазменными потоками, до (а–б) и после (в–г) высокотемпературного отжига

В результате высокотемпературного отжига в течение 10 часов происходит растрескивание поверхности (рис 1в–г) в связи с увеличением напряжений внутри образцов. Рельеф поверхности сохраняется, так же как и зеренная структура.

Участки дифрактограмм, приведенные на рисунке 2, показывают изменение фазового состава образцов в зависимости от содержания легирующих элементов. Добавление хрома и ниобия в приповерхностный слой циркония при воздействии плазменными потоками приводит к стабилизации высокотемпературной β -фазы (β -Zr) с ОЦК решеткой, о чем свидетельствует дифракционный максимум (200) при угле дифракции 2θ около 51 градуса. Положение дифракционного максимума отклоняется от табличного значения $2\theta = 51,510^\circ$. Это может означать, что образуется твёрдый раствор замещения хрома и ниобия в кристаллическую решетку.

Сохраняется низкотемпературная модификация циркония (α -Zr) с ГПУ решеткой. На дифракционном максимуме α -Zr (102) наблюдается асимметрия линии в сторону меньших углов. Это связано с образованием α' -фазы циркония с внедрением в кристаллическую решетку атомов хрома, меди или ниобия, что приводит к изменению кристаллической структуры. Так как плазменное воздействие на образцы происходило в атмосфере азота, то в приповерхностном слое формируется нитрид циркония ZrN, о чем свидетельствует наличие дифракционного максимума (200) при угле дифракции 2Θ около 39 градусов. Таким образом, воздействие компрессионными плазменными потоками приводит к формированию многофазных сплавов циркония.

В результате отжига при температуре 350 °С в течение 10 часов происходят фазовые превращения, которые были обнаружены с помощью рентгеноструктурного анализа (рис. 2б). В частности, на поверхности сплавов формируется диоксид циркония моноклинной фазы (m-ZrO₂), о чем свидетельствуют дифракционные максимумы ($\bar{1}11$) при угле дифракции 2Θ около 28 градусов и ($\bar{2}11$) при угле дифракции 2Θ около 42 градусов. Дифракционный максимум ($\bar{2}11$) проявляется только на исходном образце без воздействия плазмой (образец 0). Также на исходном образце формируется тетрагональная фаза диоксида циркония (t-ZrO₂) с дифракционным максимумом (111).

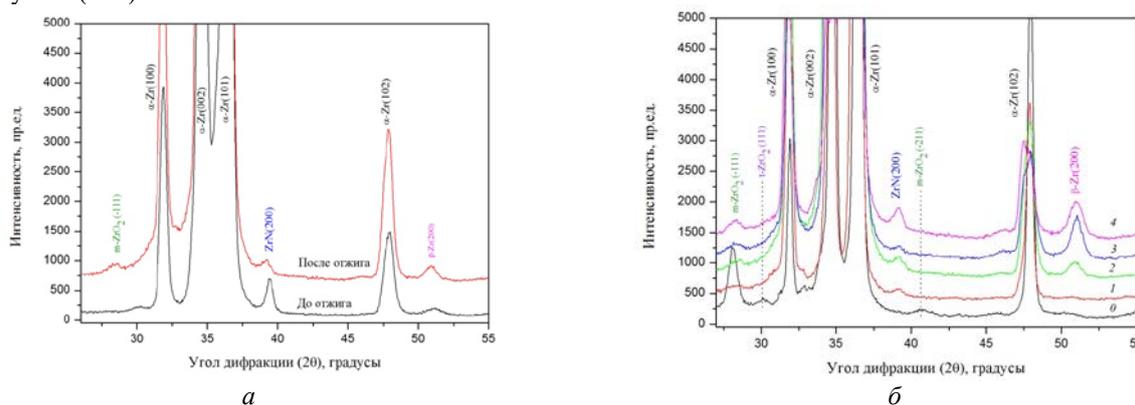


Рисунок 2 – Участки дифрактограмм сплавов циркония, сформированных плазменными потоками: а – образец номер 2 до и после отжига; б – всех образцов после отжига

При более детальном изучении рисунка 2б замечено, что обработка поверхности и добавление легирующих элементов препятствует формированию оксидного покрытия на поверхности образцов. Об этом свидетельствует уменьшение интенсивности дифракционного максимума диоксида циркония моноклинной фазы, а следовательно, и уменьшение объемной доли данной фазы в сравнении с образцом без плазменной обработки.

Таким образом, было показано, что легирование циркония атомами хрома, меди и ниобия при воздействии компрессионными плазменными потоками позволяет сформировать твердый раствор на основе β -Zr, который препятствует диффузионному насыщению кислородом поверхности при отжиге при температуре 350 °С в течение 10 часов.

Список литературы

1. Slobodyan, M. High-energy surface processing of zirconium alloys for fuel claddings of water-cooled nuclear reactors / M. Slobodyan // Nuclear Engineering and Design. – 2021. – Vol. 382. – P. 111364.
2. Zhang, Y. Expansion deformation behavior of zirconium alloy claddings with different hydrogen concentrations / Y. Zhang, H. Qi, X. Song // Journal of Nuclear Materials. – 2021. – Vol. 554. – P. 153082.
3. Mardon J. P., Charquet D. and Senevat J. (2000) Influence of Composition and Fabrication Process on Out-of-Pile and In-Pile Properties of M5 Alloy. Zirconium in the Nuclear Industry: 12th International Symposium, ASTM STP1354, ASTM, Philadelphia, 505-524.
4. Influence of the manufacturing processes on the corrosion of Zr-1.1Nb-0.05Cu alloy / H.-G. Kim [et al.] // Corrosion Science. – 2009. – Vol. 51(10). – P. 2400–2405.
5. Окисление циркония, легированного хромом при воздействии компрессионными плазменными потоками / В. И. Шиманский [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2023. – № 3. – С. 18–32.
6. Гусакова, О. В. Влияние концентрации кремния на микроструктуру и микротвердость быстротвердевших силуминов, легированных металлами / О. В. Гусакова, В. Г. Шепелевич, С. В. Гусакова // Физические, физико-математические, материаловедческие и технологические основы приборостроения : материалы 15-й междунар. науч.-техн. конф. «Приборостроение – 2022», Минск, 16–18 нояб. 2022 г., Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – 478 с.

The effect of the alloying element chromium on the kinetics of high-temperature oxidation of zirconium has been studied. The surface morphology of the modified samples before and after annealing was studied using scanning electron microscopy. The

elemental composition of the near-surface layers after processing has also been determined. The formation of oxide phases and solid solution was established using X-ray diffraction analysis.

Шевелёва Виктория Викторовна, аспирант 1-го курса, Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь, vikulya-sheveleva@mail.ru.

Научный руководитель – *Шиманский Виталий Игоревич*, кандидат физико-математических наук, доцент, Белорусский государственный университет, Минск, Республика, shymanskiv@mail.ru.

УДК 37.016:53

В. И. ЮРАСИК

МЕТОДЫ ЗАПОМИНАНИЯ И ПОВТОРЕНИЯ ФОРМУЛ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

Раскрыта важность изучения и запоминания формул. Представлен количественный анализ формул по классам и разделам в школьном курсе физики, а также перечислены наиболее известные и популярные методы повторения и запоминания формул.

Формула (от латинского *formula*) – это форма, определённое правило, образ или вид. Формулы являются неотъемлемой частью процесса обучения физике, так как формулы изначально были созданы для наглядного представления физических законов, понятий и определений. В процессе обучения физике формулы играют следующую роль

1. Математическая опора. Формулы преобразуют абстрактные концепции в точные количественные выражения и позволяют проводить точные расчеты и анализировать физические явления.

2. Понимание взаимосвязи физических величин. С их помощью учащиеся могут лучше понять, как изменение одной физической величины влияет на другую.

3. Адаптация к реальным ситуациям. Используя формулы можно анализировать и предсказывать поведения различных систем в реальных условиях.

Говоря про роль формул в процессе обучения физике, надо упомянуть и то место, которое они занимают

1. Инструмент для решения задач. Они предоставляют инструменты для решения физических задач, тем самым являясь мостом между теорией и практикой.

2. Связь с математикой. Формулы устанавливают тесную связь между физикой и математикой содействуя развитию математической грамотности учеников.

3. Структуризация материала. Используя формулы, ученики могут наблюдать общие закономерности и тенденции, а также понимать, как различные физические концепции связаны по средствам математических выражений.

Затрагивая понятия роли и места формул в процессе обучения физике нужно также рассмотреть такой аспект как количество формул в учебном процессе. Количество формул представляет собой не только меру объема информации, но также отражает структуру и охват основных физических понятий. Распределение формул по разделам физики и определение их количества в различных классах может сыграть ключевую роль в понимании не только структуры обучения, но и эффективности усвоения знаний учениками на разных этапах образовательного процесса. Результаты количественного анализа формул представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение количества формул по разделам физики и классам

Название раздела	Количество формул					Количество по разделам
	7 класс	8 класс	9 класс	10 класс	11 класс	
Кинематика	2		26			28
Динамика			9			9
Статика			4			4
Гидростатика	2		1			3
Законы сохранения	6		17			23
Молекулярная физика и Термодинамика		9		26		35
Электростатика				17		17
Электрический ток		22		6		28
Магнетизм				10		10
Механические колебания и волны					12	12
Электромагнитные колебания					10	10
Оптика		2			20	22
Основы СТО					17	17
Атомная и Ядерная физика					4	4
Количество по классам	10	33	57	59	63	222

Анализ количества формул в разных классах и разделах выявил не только их разнообразие, но и потребность в разработке эффективных методов их запоминания и усвоения. Развитие формульного аппарата в учебном процессе, начиная с 7 класса и заканчивая 11 классом, характеризуется постепенным увеличением сложности и количества формул, которые необходимо знать для эффективного усвоения учебного материала [1–5]. Это означает, что важно не только владеть конкретными формулами, но и развивать стратегии, позволяющие эффективно запоминать и применять их в разнообразном контексте физических задач.

По механизмам действия памяти методы запоминания и повторения делятся на произвольный и произвольный.

Произвольный – это процесс усвоения информации сознательными и умышленными усилиями. В контексте изучения физики произвольное запоминание или повторение может включать в себя использование различных методов, которые обеспечивают активное вовлечение ученика в процесс обучения.

Непроизвольный – это неосознанное и естественное усвоение информации без специальных усилий и сознательного воздействия со стороны обучающегося. Непроизвольное запоминание может происходить в результате регулярного взаимодействия со сформулированными законами, формулами и применением их в практике, что способствует автоматическому включению этой информации в память ученика.

Методы произвольного запоминания и повторения:

1. Мнемофразы – это фразы, которые позволяют лучше запомнить формулы: Средняя кинетическая энергия движения молекул идеального газа на одну степень свободы «Пол кота».
2. Мнемостихи – это стихи, которые мы можем использовать для перевода определенной информации в связанные рифмой или ритмом фразы: Плотность тела мы найдём, когда разделим массу на объём.
3. Мнемокарточки – набор карточек, на лицевой стороне которых записывается формула, а на обратной её физическая величина, название, раздел, в котором она находится и тому подобное.
4. Мнемостикер – это стикер, на котором присутствует краткая запись параграфа.
5. Метод ведения тетради с формулами.
6. Использование различных интерактивных ресурсов, веб-приложений, обучающих программ.

Методы произвольного запоминания и повторения:

1. Регулярное взаимодействие – естественное усвоение информации, путём постоянного использования формул при решении задач различного рода.
2. Ассоциативное запоминание – связывание формул с личными воспоминаниями, визуальными образами или ситуациями, что способствует их произвольному запоминанию.
3. Метод Цицерона – это способ запоминания любой информации, не только формул, заключающийся в расклеивании по всем комнатам стикеров с этой информацией или формулами: Сила тяжести – на люстру, сила тока или напряжение – на розетку, момент силы – на дверь и так далее.
4. Обсуждение и объяснение другим – процесс объяснения формул сверстникам или преподавателям в неформальной обстановке может привести к их произвольному запоминанию, поскольку активизирует глубокую обработку информации.
5. Игровые методы – использование образовательных игр, где формулы встречаются в контексте игровых задач, способствует их произвольному запоминанию за счёт повышенного интереса и вовлеченности.

Формулы играют ключевую роль в обучении физике. Количественный анализ формул показывает необходимость разработки эффективных методов их запоминания и усвоения. Представленные методы могут быть средством сокращения времени на запоминание и повторение формул [6]. Использование разнообразных методов способствует более глубокому усвоению материала. Таким образом, разработка и применение различных стратегий по запоминанию и повторению формул существенно влияет на эффективность усвоения физических знаний учащимися.

Список литературы

1. Физика : учеб. пособие для 7-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова, Е. В. Громько, Ю. Д. Лещинский ; под ред. Л. А. Исаченковой. – 2-е изд., перераб. – Минск : Народная асвета, 2022. – 168 с.
2. Физика : учеб. пособие для 8-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова, Ю. Д. Лещинский, В. В. Дорофейчик ; под ред. Л. А. Исаченковой. – Минск : Народная асвета, 2018. – 176 с.
3. Физика : учеб. пособие для 9-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / Л. А. Исаченкова, Е. В. Захаревич, А. А. Сокольский ; под ред. А. А. Сокольского. – 2-е изд., перераб. – Минск : Народная асвета, 2019. – 208 с.
4. Физика : учеб. пособие для 10-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / Е. В. Громько [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2019. – 264 с.
5. Физика : учеб. пособие для 11-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обучения / В. В. Жилко [и др.]. – Минск : Народная асвета, 2021. – 264 с.
6. Приемы эффективного запоминания на уроках физики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infourok.ru/priemy-effektivnogo-zapominaniya-na-urokah-fiziki-5849878.html>.

The concept of a complex problem is disclosed. The methodological recommendations for the teacher are presented in the compilation of complex tasks. The complex task for systematization and generalization of knowledge of pupils of 10 class on section «Thermodynamics» is developed.

Юрасик Василий Игоревич, студент 4-го курса физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, vasia01yurasik@gmail.com.

Научный руководитель – *Харазын Оксана Гагиковна*, кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей физики Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, harazyn_og@grsu.by.

УДК 371.321.3

Я. В. ЯНУШЕВИЧ

О НЕОБХОДИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ В НЕИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ МЕХАНИКИ

Рассматривается необходимость детального пересмотра алгоритма изучения учащимися вопросов, связанных с законом инерции и системами отсчета в школьном курсе механики. Указаны некоторые несоответствия и ошибки в преподавании рассматриваемой темы, а также предложен алгоритм эффективного изучения данной темы.

В существующих школьных учебных программах по физике изучению механического движения в неинерциальных системах отсчета (НСО) отводится незначительная доля учебного времени. Однако в повседневной жизни, в силу того, что человек регулярно непосредственно взаимодействует с человекоразмерными механическими системами и понимание механического движения для него складывается фактически интуитивно, человеку регулярно приходится сталкиваться с движением в системах отсчета, в которых наблюдается проявление сил инерции.

Для формирования у учащихся понимания эффектов, наблюдаемых в НСО, в первую очередь необходимо ввести понятие системы отсчета как совокупности тела отсчета, системы координат и механизма измерения времени (часов), а также четко разграничить понятия инерциальной и неинерциальной систем отсчета, дав им однозначное определение. Зачастую инерциальная система отсчета (ИСО) определяется как система отсчета, в которой выполняется закон инерции (он же первый закон Ньютона). С другой стороны, во многих учебниках первый закон Ньютона формулируется с учетом существования инерциальных систем отсчета. В итоге, определение ИСО и формулировка первого закона Ньютона получаются взаимозависимыми и замкнутыми друг на друга, что усложняет понимание учащимися данных фактов.

С нашей точки зрения разрешением данной проблемы может выступить определение ИСО как системы отсчета, которая либо находится в состоянии покоя, либо движется равномерно, прямолинейной и поступательно (без вращения). Данное определение не привязано к закону инерции. Будет ли выбранная система отсчета инерциальной или нет, зависит от выбора учащегося, решающего конкретную механическую задачу, а не от того, выполняется ли закон инерции в этой системе отсчета или нет. Закон инерции как фундаментальный закон природы выполняется всегда, а тип системы отсчета определяется выбором тела отсчета, к которому привязывается система координат.

Следовательно, неинерциальная система отсчета (НСО) будет определяться как система отсчета, которая движется либо неравномерно (с ускорением), либо по криволинейной траектории, либо вращается, либо ее движение представляется в виде сочетания всех перечисленных случаев. Законы динамики (они же законы Ньютона) в НСО не выполняются, и на данном факте необходимо особо акцентировать внимание учащихся, поскольку использование законов динамики в НСО в той форме, как они используются в ИСО, – это грубейшая физическая ошибка.

Чтобы законы динамики можно было использовать в НСО, необходимо ввести в рассмотрение дополнительные силы, возникающие как математическая потребность в приведении уравнений движения к виду уравнений динамики в ИСО. Данные силы – силы инерции – являются фиктивными (выдуманными) и не являются силами в обычном механическом понимании, так как, с одной стороны, для них не выполняется третий закон Ньютона (нет парной силы), и, с другой стороны, нет тела, которое действовало бы на рассматриваемое тело с силой инерции. Следовательно, природа сил инерции чисто математическая, а их механическое проявление в НСО связано как раз с выполнением закона инерции, а не наоборот, как утверждается во многих литературных источниках. Закон инерции в этом отношении более фундаментален, нежели система отсчета.

Дальнейший алгоритм изучения данного вопроса может развиваться в направлении классификации сил инерции. Так, предлагается сначала рассмотреть типы сил инерции в зависимости от вида движения НСО без

их детального математического описания. В дальнейшем достаточным для школьного уровня будет более детальное и глубокое рассмотрение поступательной и центробежной сил инерции, как проявления равноускоренного прямолинейного движения и равномерного вращательного движения системы отсчета, соответственно. Более сложные случаи ускоренного прямолинейного и ускоренного вращательного движений системы отсчета, равно как и случай подвижного тела в НСО, требуют достаточно глубоких знаний математических операций с векторами, в том числе их векторного произведения для случая силы инерции Кориолиса, а потому выходят за рамки школьной программы.

Таким образом, можно предложить следующий алгоритм подачи учебного материала по теме «Неинерциальные системы отсчета»:

- 1) формулировка закона инерции (с указанием того, что данный закон является фундаментальным законом природы и выполняется всегда, вне зависимости от системы отсчета);
- 2) определение системы отсчета (следует отдельно указать, что выбор системы отсчета абсолютно произволен и с точки зрения физики все системы отсчета равноправны, а отличаются лишь математические записи законов движения);
- 3) классификация систем отсчета с четким разделением на инерциальные и неинерциальные системы отсчета (при этом следует отметить, что закон инерции выполняется в любой системе отсчета, однако механические проявления этого закона в системах отсчета разного типа различны, и математическая форма законов движения различна);
- 4) определение неинерциальной системы отсчета и причина введения фиктивных сил инерции;
- 5) полная классификация сил инерции (поступательная, центробежная, Кориолиса);
- 6) математическое описание механического движения в НСО с учетом поступательной и центробежной сил инерции.

В заключение отметим, что предложенный алгоритм подачи учебного материала может способствовать повышению эффективности изучения учащимися данного раздела механики.

Список литературы

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики / Д. В. Сивухин. – М. : Физматлит, 2006.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: Механика / И. В. Савельев. – М. : Астрель, 2004.
3. Механика : учеб. пособие / Л. Г. Мальшев [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 113 с.
4. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. – М. : Высшая школа, 1966.

The article discusses the need for a detailed revision of the algorithm for students studying issues related to the law of inertia and reference systems in a school mechanics course. Some inconsistencies and errors in teaching the topic under consideration are indicated, and an algorithm for effectively studying this topic is proposed.

Янушевич Ян Владимирович, студент 3-го курса физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, yan.yanushevich@gmail.com.

Научный руководитель – *Лавыш Андрей Валентинович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, Lavysh_AV@grsu.by.

УДК 37.01

G. G. YULDASHEVA

PROBLEMS OF APPLYING THE PRINCIPLE OF UNITY IN TEACHING PHYSICS

In this article, the author describes the methodological aspects of increasing the effectiveness of physics teaching in the continuous education system, as well as the didactic possibilities of using principles such as scientificity, demonstrability, comprehensibility, coherence, compatibility, consistency, etc. stopped.

Fundamental reform of the continuous education system, introduction of advanced pedagogical technologies and improvement of educational efficiency has been raised to the level of state policy. The formation of new types of education, determination of its content based on its purpose, development of new educational programs and creation of a new generation of educational literature require a new approach to the problem of ensuring coherence between types and stages of education in our people. Therefore, in the following years, one of the main tasks facing pedagogy was to provide a scientific basis for ensuring the integrity of the types and stages of education. Today, teaching theory and methodology are required to be implemented based on didactic principles, including scientificity, demonstrability, comprehensibility, coherence, compatibility, and consistency. Teaching physics in higher education institutions requires students not only to have deep knowledge of modern knowledge, but also to master the basic physical concepts and concepts and to clearly imagine the coherence between them at different stages of education.

In secondary schools, the physics course teaches students to approach the analysis of phenomena mainly from the perspective of determinism. And the theoretical side of the matter is not given enough attention.

But the structure of material objects cannot be described in depth without theoretical concepts. In particular, the study of the structure of matter from an atomic-molecular point of view is carried out only on the basis of statistical laws.

In order for students to thoroughly master the scientific foundations of the physics course, it is necessary to ensure consistency between theoretical and practical content in the teaching of «Physics».

However, in practice, it is difficult to say that this issue is adequately resolved in the process of teaching physics in higher educational institutions.

The main place in the physical worldview of most students is occupied by dynamical laws, and insufficient attention is paid to theoretical ideas and concepts.

The main reason for these shortcomings is the failure to apply the principles of compatibility and coherence of didactics in the teaching of the general physics course in higher educational institutions, as well as the failure to take into account the coherence of the content and methods of education at different stages of physics teaching. The principle of connection between theory and practice is based on the unity of theory and practice in the process of scientific knowledge.

Its implementation in the process of teaching physics in higher educational institutions is an important task of the methodology of teaching physics.

Teaching physics in higher education requires a deep understanding of modern knowledge by students, thorough mastering of basic physical concepts and laws, and ensuring their coherence at different levels. In modern educational theory and practice, research is being conducted to determine ways to activate students' cognitive activities.

It is important to apply the principle of integrity in improving this process.

Pedagogical and scientific sources define the concept of «integration» differently. Integration is an important quality that represents the organization of the educational process based on a certain sequence, and it ensures the strengthening, expansion and deepening of the knowledge, skills and abilities that make up the content of the previous stage of educational activity at a certain stage [1; 2]. Integration is a complex process and has philosophical, pedagogical and psychological aspects [3; 4]. In particular, philosophically, the category of «integration» is closely related to the category of «development», and its essence becomes clear when comparing it with the category of «movement». Integration reflects the general and important connections that apply to all developing phenomena and processes, and determines the presence of the old in the new. Coherence connects the past with the future and ensures the stability of the whole. So, in the philosophy of the present time, integrity is the preservation of some elements of the previous state of the newly created thing in the course of the development of material objects.

In the above-mentioned pedagogical literature, coherence is explained as follows:

1. Didactic principle (as a basic rule defining the content, organizational forms and methods of the educational process).

2. Conditions (as conditions that help to organize the educational process effectively).

3. Motivating force (as conditions that help to organize the educational process effectively).

4. As a mandatory requirement in the process of education, development and upbringing [8; 9].

In education, integration is used in two ways. First, the coherence between the stages of educational types. In this case, the content of the next type of education partially repeats the previous one, and continues in its next types of education, being organically connected in terms of content. Secondly, coherence between academic subjects. This is usually done through interdisciplinary or cross-disciplinary communication.

In our opinion, coherence refers to the systematic placement of educational material in a certain sequence, reliance on existing knowledge in the acquisition of knowledge, the use of educational material in subsequent stages to a certain extent, the continuity of the stages of the educational process. This helps in the placement of educational subject materials and the effective selection of activities for learning the basics of this subject.

In this process, it is important to take into account the following two factors, namely:

- the content, logic of a specific subject (concepts, laws and arguments that make up the content of the subject, actions that ensure the gradual disclosure of the essence of specific field knowledge acquired before and after, based on a certain sequence) [5];

- the conditions of the process of acquiring knowledge (action, action that does not allow the direct assimilation of the knowledge of a specific field that has not been processed didactically) [5].

Pedagogical scientists have given different definitions to the concept of unity. A. M. Pyshkalo defines the problem of coherence as

1) intersubject coherence;

2) coherence within the subject;

3) shows that it is possible to learn in the form of coherence between educational stages. A. V. Batarshv developed a three-component pedagogical system of integrity, which includes: integrity in the formation of a person, integrity in the content of education, integrity among educational forms, methods and tools [3].

The resolution of contradictions in the learning-cognitive process is manifested as a mechanism for the implementation of continuity in education: the continuity in the learning and learning process is reflected in the implementation of inter-subject and inter-cycle connections, and the continuity in education is the continuity of the learning and learning process as a necessary condition for the creation of new knowledge [6; 7].

Due to the lack of methodological methods on the issues of interdependence in teaching physics, ensuring coherence between theoretical and practical knowledge, pupils and students find it difficult to apply their knowledge from these subjects in practice.

In order to overcome these difficulties to a certain extent, it is appropriate to rely on the following recommendation.

- separation of program materials for theoretical and practical knowledge of the taught physics course by chapters and topics;

- development of a suitable methodology for teaching theoretical physics ideas suitable for physics and requirements for mastering them;

- organize seminars, optional courses for physics using the elements of theoretical physics and show the existence of the principle of unity in studying ideas and concepts in theoretical physics. The conducted educational experiences show that teaching physics in such a way not only creates an opportunity to study the ideas and concepts in physics thoroughly and in-depth, but also forms the skills and abilities of students and students to apply the didactic principle in practice.

Such a way not only increases the effectiveness of physics course teaching, but also increases the interest of pupils and students in these subjects.

References

1. Ananyev, B. G. On continuity in education / B. G. Ananyev. – M. : Pedagogy, 1952. – 276.
2. Akhliddinov, R. Sh. Scientific-pedagogical foundations of ensuring continuity in the general secondary education system / R. Sh. Akhliddinov, Kh. I. Ibragimov // Proceedings of the Republican scientific-practical conference on «Current issues of improving the continuous education process». – T., 2004. – B. 9–12.
3. Batarshev, A. V. Pedagogical system of continuity of education in secondary and vocational schools / A. V. Batarshev. – St. Petersburg : Publishing house. Institute of Vocational Education RAO, 1996. – 90 p.
4. On the continuity of educational programs at different levels / M. D. Bershadskaya [et al.] // Innovations in education. – Moscow, 2002. – No. 5. – P. 45.
5. Ismailov, K. A. Development of creative thinking and activation of students when teaching physics / K. A. Ismailov, Z. Abdulanazarov // Modern problems of teaching physics : Republican scientific-methodological seminar. – Tashkent, 2007. – P. 17–25.
6. Kustov, Yu. A. The role of the principle of continuity in higher school pedagogy / Yu. A. Kustov // Modern Higher School. – Moscow, 1998. – No. 1 (61). – P. 63–76.
7. Mubarakov, A. M. The principle of continuity and school education / A. M. Mubarakov // Standards and Monitoring in Education. – Moscow, 2003. – No. 2. – S. 30–32.
8. Tolipov, U. K. Continuity between types of education and their structuring / U. K. Tolipov, R. D. Choriev // Proceedings of the Republican scientific-practical conference on the topic «Actual issues of improving the process of continuous education». – Tashkent, 2004. – B. 64–65.
9. Shodiev, D. Continuity and coherence in the educational system / D. Shodiev // Development of education. – Tashkent, 2001. – № 3–4. – P. 39–40.
10. Yuldasheva, G. G. Continuity in the Study of General Physics / G. G. Yuldasheva // Eastern European Scientific Journal. – Germany, 2016. – P. 138–142 p.

Yuldasheva Gulora Gulumovna, senior lecturer, Urgench State University, Urgench, Uzbekistan, ygulora@rambler.ru.

Scientific supervisor – *Imamov Erkin Zunnunovich*, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al-Xorezmi, Tashkent, Uzbekistan, mahmudovahurshida@rambler.ru.