

2023/2



ТФ
НИЯУ МИФИ
Ташкентский
филиал

АХВОРОТНОМА

**TOSHKENT SHAHRIDAGI «MMFI» MILLIY
TADQIQOT YADRO UNIVERSITETI FILIALI
АХВОРОТНОМАСИ**

ВЕСТНИК

**ФИЛИАЛА НАЦИОНАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА «МИФИ» В ГОРОДЕ ТАШКЕНТ**

BULLETIN

**OF THE BRANCH OF NATIONAL
RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY
«MERNI» IN TASHKENT**



mephi_life



ТФ НИЯУ МИФИ



mephi_uz



mephi.uz

2023/2

ISSN 2181-4074



АХВОРОТНОМА

**TOSHKENT SHAHRIDAGI «MMFI» MILLIY
TADQIQOT YADRO UNIVERSITETI FILIALI
АХВОРОТНОМАСИ**

ВЕСТНИК

**ФИЛИАЛА НАЦИОНАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА «МИФИ» В ГОРОДЕ ТАШКЕНТ**

BULLETIN

**OF THE BRANCH OF NATIONAL
RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY
«MPhI» IN TASHKENT**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» в городе Ташкенте.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК ТФ НИЯУ МИФИ» 1/2023

Электронный научный журнал «Вестник филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» в городе Ташкент» - периодическое рецензируемое научное издание, публикующее оригинальные статьи и обзоры исследователей и специалистов Узбекистана и зарубежных стран по широкому кругу вопросов в области физики и техники.

При использовании материалов, опубликованных в журнале, необходимо указывать, что они взяты из научно-технического журнала «Вестник филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» в городе Ташкенте». Автор несет ответственность за доказательства и информацию, которые представлены в его статье. Все материалы, размещенные в журнале, считаются опубликованными и считаются объектом авторского права.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Ю. А. Маслов – к.т.н, исполняющий обязанности директора ТФ НИЯУ МИФИ

ЗАМ.ГЛАВ. РЕДАКТОРА:

Ш. Ш. Абдукамилов – к.т.н, исполнительный директор ТФ НИЯУ МИФИ

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР:

М. О. Халикова – к.т.н, зав.кафедрой

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

И. И. Садиков – д.т.н. проф., директор ИЯФ АН РУз

М. Ю. Ташметов – д.ф.-м.н., зам.директора ИЯФ АН РУз

С. Б. Игамов – зав.кафедрой, д.ф.-м.н

С. В. Артемов – д.ф.-м.н., проф., вед.науч.сотр. ИЯФ АН РУз

С. А. Байтелесов – д.т.н., вед.науч.сотр. ИЯФ АН РУз

П. Э. Пяк – к.ф.-м.н., зав.кафедрой

Г. Н. Мустафакулова – к.т.н., доцент

А. В. Хугаев – к.ф.-м.н., ст.науч.сотр. ИЯФ АН РУз

Г. А. Кулабдуллаев – к.ф.-м.н., зав.лаб. ИЯФ АН РУз

Э. Н. Цой – к.т.н., доцент

ВЕСТНИК ФИЛИАЛА НАЦИОНАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА «МИФИ» В ГОРОДЕ
ТАШКЕНТ

TOSHKENT SHAHRIDAGI “MMFI” MILLIY
TADQIQOT YADRO UNIVERSITETI FILIALI
AXBOROTNOMASI

BULLETIN OF THE BRANCH OF NATIONAL
RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY MERNI IN
TASHKENT

МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ РЕДАКЦИИ:

100214, г. Ташкент, М.Улугбекский р., пос.Улугбек, ул. Хуросон 1

Телефон: +998 71 231-91-80, +998 71 231-91-57

НАНОРАЗМЕРНЫЕ P-N ПЕРЕХОДЫ И ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Т.А.Джалалов, Э.З.Имамов, Р.А.Муминов

4

ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ ЧЕРТЕЖА ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ В ТАШКЕНТСКОМ ФИЛИАЛЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА «МИФИ»

А. Р. Файзиев, Н. И. Куваева

10

К ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Б.Б.Егамбердиев, А.Б.Артыкбаева

17

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ

К.Хакимова, Е.В.Иванова

22

СПЕКТРЫ ДВУХ- И ТРЕХФОТОННО-ВОЗБУЖДАЕМОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ПОРОШКАХ РОРОР ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

*И.А. Рахматуллаев, Н.В. Чернега, Х.З. Ботиров,
М.О. Илхомжонов, Н.Д. Нуржанова*

29

ENHANCING THE DURABILITY OF ROCK-CUTTING TOOLS THROUGH RADIATION AND MAGNETO-IMPULSE TREATMENT

A.S. Filipenko, G.M. Khalmirzaev

34

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ММР ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН ПО МЕТОДОЛОГИИ RTA, МАГАТЭ

Э.С.Шин, Н.Ж.Эркабаева, Ш.Б.Умаров

38

ASSESSING THE CONSEQUENCES OF A HYPOTHETICAL SEVERE ACCIDENT IN A SMALL MODULAR REACTOR IN UZBEKISTAN

M.Kholboeva Sh.Umarov

44

НАНОРАЗМЕРНЫЕ P-N ПЕРЕХОДЫ И ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Т.А.Джалалов¹, Э.З.Имамов², Р.А.Муминов³

¹Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Ташкент, Узбекистан

²Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада Аль-Хорезми

³Ташкентский Физико-технический институт, НПО «Физика-Солнце»

Аннотация. В работе рассмотрен процесс формирования области пространственного заряда в принципиально новых контактных структурах, состоящих из полупроводниковой базы и нановключений на его поверхности.

Показано, что специфика нового типа контакта полностью определяется C_0 -электрической емкостью нановключения.

Показано отличие свойств нового типа контакта, как по структуре, так и по протяженности от аналогичных контактных явлений характерных для барьеров Шотки, сплошных p-n-переходов и гетеропереходов.

Ключевые слова: наноструктуры, квантовые точки, p-n-переход, полупроводниковые структуры, нановключения, область пространственного заряда, электрическое поле.

Физические свойства электронно-дырочных переходов и контактные явления лежат в основе теории полупроводниковых приборов. Процесс микроминиатюризации современной электронной техники достиг нанометровых размеров и, естественно, ожидать, что их физические свойства и технические характеристики должны содержать принципиально новые проявления [1,2]. Например, наноструктурная обработка поверхности полупроводника и нанесение на неё нульмерных нанообъектов из другого однородного полупроводникового материала приводит к появлению в энергетическом спектре электрона квантовой точки (КТ) целого набора дискретных уровней. Присутствие на поверхности указанных состояний квантовой точки в силу их взаимодействия с объемом или состояниями дефектов поверхности должно проявиться в контактных свойствах полупроводникового материала. В данной работе проводится исследование именно этих контактных свойств и их влияние на электрические свойства фотоэлементов.

Различие между работами выхода электрона квантовой точки ($A_{КТ}$) и электрона полупроводниковой базы (A_{n-si}) ответственно за возникновение между ними контактной разности потенциалов (φ_o):

$$e\varphi_o = A_{КТ} - A_{n-si} \quad (1)$$

В нашей теории нановключения на поверхности, кроме наличия в них дискретного энергетического спектра состояний электрона, должны удовлетворять следующим модельным предположениям:

-квантовая точка (из материала с постоянной решетки a_o и диэлектрической проницаемостью ϵ_N) имеет форму шара радиусом R (число атомов в ней $\delta \approx \left(\frac{R}{a_o}\right)^3$, если $R \approx 10-40$ нм и $a_o \approx 0,5$ нм, то $\delta \approx 8000-512000$);

-количество КТ пропорционально $N_{oD}^{2/3}$ —поверхностной концентрации легирующих доноров;

-вероятность захвата электрона из объема одинаково для каждой молекулы КТ;

-занимая малое пространство ($\approx 10-40$ нм; молекул всего - $10^4 - 10^6$), КТ в состоянии сконцентрировать достаточно большой электрический заряд;

-площадь КТ составляет $\approx 10-16\%$ поверхности.

Величина φ_k определяется количеством электронов N , которые за счет «оголения» доноров захватываются из объема n -типа кремния на дискретные энергетические уровни квантовой точки, а также образованием области пространственного заряда (ОПЗ) шириной d . Он длинный, отдельный, однотипный и расположенный за каждой квантовой точкой (значит их количество столько, сколько на поверхности легирующей примеси, то есть квантовых точек и p - n -переходов не меньше, чем $N_D^{2/3}$ штук!).

Длинный p - n -переход означает, что пространственные размеры его электростатического поля настолько протяженные, что всё поглощение видимого света происходит только в пределах присутствия этого поля. Это пространство больше, чем область проникновения света, чем диффузионные длины и основных и неосновных носителей тока.

Развиваемая в настоящей работе теория контактного явления в фотоэлементах со многими наноразмерными p - n переходами строится из предположения, что каждая квантовая точка, в соответствии со своей емкостью, захватывает N электронов (основных носителей заряда-ОНЗ) полупроводниковой базы. Как диэлектрическая среда шарообразной формы она обладает емкостью C_o , классическое выражение которой имеет вид:

$$C_o = \frac{q}{\varphi_o} \quad C_o = \frac{eN}{\varphi_o} \quad C_o = 4\pi\epsilon_o\epsilon_N R \quad (2)$$

что дает для N соотношение:
$$N = \frac{4\pi\epsilon_o\epsilon_N R \varphi_o}{e} \quad (3)$$

В результате захвата N электронов квантовой точкой за ней образуется однородная длинная линейная цепочка (длиной d) «оголенных» доноров иглообразной формы (р-п-переход как английская булавка рис.1). В совокупности, поля всех р-п-переходов и квантовых точек формируют область пространственного заряда с длиной, простирающиеся на десятки мкм.

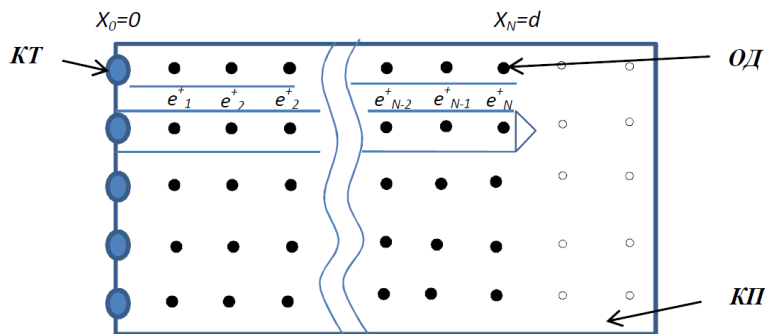


Рис. 1. Структура «английская булавка» продольный разрез.

КТ – квантовая точка (р-типа); **ОД** – оголённые доноры; **КП** – кремниевая подложка.

Предполагая распределение наносимых квантовых точек и легирующей примеси в полупроводниковой базе однородным и равномерным (рис.2), на основе теоремы Остроградского-Гаусса и принципа суперпозиции полей, рассчитывается $\mathbf{E}(\mathbf{x})$ – вектор напряженности электрического поля в области пространственного заряда фотоэлемента с многими наноразмерными р-п переходами.

Каждая плоскость области пространственного заряда фотоэлемента имеет постоянную поверхностную плотность заряда:

$$\sigma = \frac{q}{L^2} = e^+ N_D^{2/3}, \quad (4)$$

а поверхностная плотность заряда σ_N , образованная отрицательными электронами (e^-), захваченными дискретными энергетическими уровнями квантовой точки -

$$\sigma_N = e^- N N_D^{2/3} \quad (5)$$

где $q = e^+ L^2 N_D^{2/3}$, e^+ - заряд ионизированного донора.

Результат вычисления координатной зависимости $E_k(x)$ в каждом из k межплоскостном пространстве приведен на рис.3. Аналитическая зависимость имеет вид:

$$E_k(x) = \frac{-2|e^+|N_D^{2/3}(N - [x_k])}{2\varepsilon_0\varepsilon_{Si}} \quad (6)$$

где ε_0 —диэлектрическая постоянная, ε_{Si} — диэлектрическая проницаемость кремния, N - определяется формулой (3), $[x_k]$ – целая часть x -координаты и равна k - номеру чередующихся плоскостей ($0 \leq k \leq N$) вдоль иглы.

Из рис.3 видно, что $E_k(x)$:

- между каждыми плоскостями равномерная и постоянная величина;
- везде отрицательная (из глубины **p-n**-перехода направлена к поверхности фотоэлемента);
- имеет дискретную структуру, при переходе на очередное межплоскостное пространствоскачком изменяется (увеличивается) на 2α , достигая нуля в конце **p-n**-перехода.

Исходя из граничных условий $E_k(x_N = d) = 0$ при $x_k = x_0 = 0$ (равенства нулю $E_k(x)$ в конце **p-n**-перехода $x_N = d$), а также

$$e\varphi_N = 0, \quad \text{при} \quad x_k = x_N = d \quad (k = N), \quad (7)$$

определяется из уравнения Пуассона контактная разность потенциалов $\varphi_k(x)$ в каждом межплоскостном пространстве от x_k до x , где $0 \leq k \leq N$:

$$\varphi_k(x) = - \int_{x_k}^x E_k(x) dx = \varphi_0 - \frac{\beta}{b^2} \left[\frac{d}{N} \sum_{i=0}^k (i-1) + (N+1-k)x \right] = \varphi_0 - \frac{\beta}{b^2} \left[\frac{kd(k-1)}{2N} + (N+1-k)x \right] \quad (8)$$

где $\beta = \frac{e}{\varepsilon_0\varepsilon_{Si}}$, $b = N_D^{-1/3}$.

Из (7,8) следует, что при $x_k = x_0 = 0$

$$\varphi_0 = \beta \frac{N^2 (N+1)}{2d} \quad (9)$$

Величина $\varphi_k(x)$ в конце очередного межплоскостного пространства ($x = x_k$) равно:

$$\varphi_k = \varphi_k \left(\frac{kd}{N} \right) = \varphi_0 - \frac{\beta(kN)}{2d} (2N+1-k) \quad (8')$$

Оценка полученных данных соотношений показывает, что $\varphi_k(x)$ спадает почти на половину ($\approx 54\%$) в конце первой четверти области пространственного заряда, а в середине - его величина составляет порядка 26% от величины φ_0 .

Из (7,8) при $k=N$ и с учетом (2) найдем d – длину иглообразного p-n-перехода:

$$d = \frac{\beta N^2 (N + 1)}{2\varphi_0} = \frac{C_0 N (N + 1)}{2\varepsilon_0 \varepsilon_{Si}} \quad (10)$$

где $N = \frac{C_0 \varphi_0}{e}$, $C_0 = 4\pi\varepsilon_0 \varepsilon_N R$. При $N \gg 1$

$$d \approx \frac{\beta N^3}{2\varphi_0} = \frac{C_0 N^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon_{Si}} \quad (10')$$

Из (10 и 10') следует, что толщина области пространственного заряда фотоэлемента с многими наноразмерными p-n переходами определяется параметрами ε_N и радиусом R квантовой точки, также ε_{Si} и, косвенно, через работу выхода (A_{Si}) концентрацией легирующей примеси N_D .

Возможные технологические трудности, связанные с нанесением большого количества квантовых точек по числу поверхностной концентрации легирующей примеси можно обойти. Это достигается уменьшением поверхностной концентрации квантовых точек (в n раз), сбор заряда на них будет осуществляться из нескольких соседних (n штук) линейных цепочек ионизированных доноров, при этом в праз уменьшается его протяженность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении отметим, что в работе построена теоретическая модель формирования области пространственного заряда в принципиально новых контактных структурах, состоящих из полупроводниковой базы и нановключений на его поверхности.

Показано, что специфика нового типа контакта полностью определяется C_0 -электрической емкостью нановключения.

Показано отличие свойств нового типа контакта, как по структуре, так и по протяженности от аналогичных контактных явлений характерных для барьеров Шотки, сплошных p-n-переходов и гетеропереходов.

Отмечено, что именно из-за достаточно глубокой протяженности области пространственного заряда в новых контактных структурах (фотоэлементах с многими наноразмерными p-n переходами) не традиционно будут протекать оптические явления, например, генерация светом электронно-дырочных пар и их пространственное разделение происходят в области пространственного заряда, то есть в поле рождается пара и в этом же поле происходит её пространственное разделение.

Литература:

1. Цой Б. Преобразователь Электромагнитного Излучения// Патент в Евразийском патентном ведомстве. EP2405487 A1. 2012.08.30.
2. Цой Б. Способ изготовления пучкового перехода, пучковый преобразователь электромагнитного излучения// Патент во всемирной организации интеллектуальной собственности. № WO 2011/040838 A2. 07.04.2011.
3. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А. Механизм повышения эффективности солнечных фотоэлементов// Гелиотехника.2010. №4.С. 3-9.
4. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А. Особенности энергетического спектра и мультиэкситонной генерации в наночастицах PbSe и PbS // Гелиотехника.2011. №2.С. 18-21.

**ПРОВЕДЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СПОСОБОВ
ПОСТРОЕНИЯ ЧЕРТЕЖА ЛИНИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ
ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ В ТАШКЕНТСКОМ ФИЛИАЛЕ
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА «МИФИ»**

А. Р. Файзиев

Н. И. Куваева

^{1,2} Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ», Ташкент, Узбекистан

Для проведения сравнительного анализа способов построения чертежа рассмотрим решение задачи на построение линии пересечения геометрических поверхностей посредством методов начертательной геометрии, так же рассмотрим решение этой задачи в системе автоматизированного проектирования (САПР) Компас - 3D.

Одной из задач начертательной геометрии является задача на построение геометрических поверхностей. Данная задача находит широкое применение в практике, построение линии перехода одной поверхности в другую необходимо для построения чертежей деталей механических узлов. Эта одна из завершающих тем курса дисциплины, т.к. в ней в полной мере рассматривается положение точек, прямых, поверхностей. На примере [1, с.408] построения линии пересечения цилиндрической и конической поверхности применили метод вспомогательных секущих сфер [2, с.206], в частности концентрических сфер, который применяется, если две пересекающиеся поверхности вращения соосны. На рис. 1 представлен чертеж двух соосных поверхностей конуса и цилиндра. Рассмотрим решение с помощью метода секущих сфер и плоскостей.

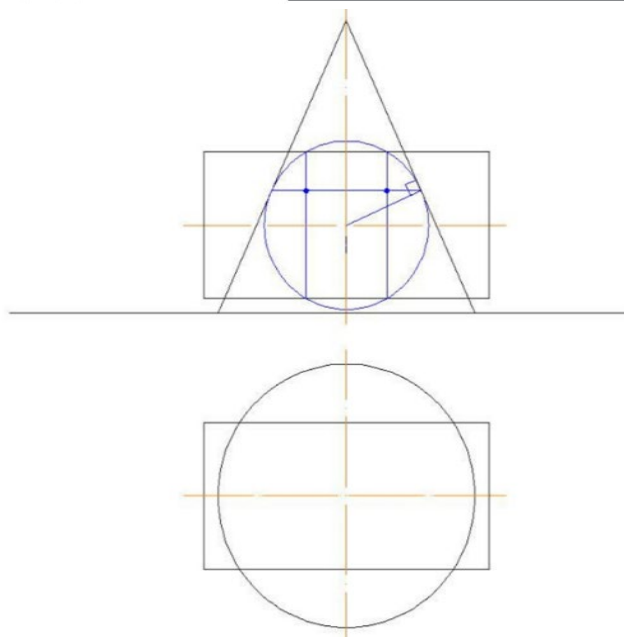


Рис. 1

Ось вращения цилиндрической поверхности занимает профильно-проецирующее положение, ось вращения конуса занимает горизонтально-проецирующее положение. Данные поверхности соосны. Решение задач в начертательной геометрии предварительно рассматривается в пространстве при мысленном представлении геометрических образов, а затем графически. Мысленное представление применения способа концентрических сфер заключается в том, что в две данные поверхности вписывается третья поверхность концентрической сферы, затем находится линия пересечения одной из заданных поверхностей с вписанной поверхностью сферы. Затем находится линия пересечения другой заданной поверхности с этой же вписанной сферой. Такие сферы берутся с минимальным, максимальным и промежуточным радиусами. В решении данной задачи сфера с минимальным радиусом касается сторон треугольника, являющегося фронтальной проекцией конической поверхности (рис. 1). Через точки касания проходит линия пересечения вписанной сферы с конической поверхностью. Через точки пересечения фронтальной проекции сферы и фронтальной проекции цилиндра проходит линия пересечения сферы и цилиндра. Линии пересечения сфер и поверхностей пересекаются между собой в точках. Эти точки являются общими для трех поверхностей и принадлежит линии пересечения двух заданных поверхностей. Таким же способом проводим определяем положение точек принадлежащих линии пересечения поверхностей, полученных при вписывании сфер с промежуточными и максимальным радиусами.

При определении положения горизонтальной проекции линии пересечения поверхностей применяем способ секущих плоскостей. При этом рассматриваем принадлежность точек конической поверхности. Это решение задачи в пространстве. Только после решения задачи в пространстве, выполняется построение в ортогональном чертеже (рис. 2).

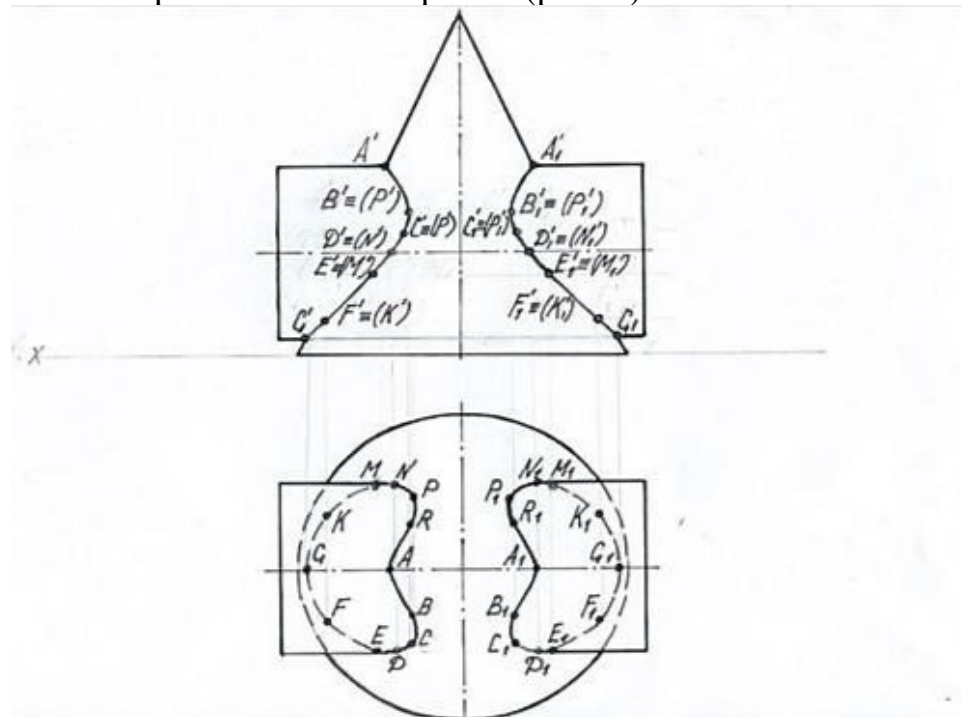


Рис. 2

Построение линии пересечения поверхностей начинаем с определения положения опорных точек A, A_1, C, C_1 . Затем строим фронтальную проекцию линии пересечения вышеописанным методом секущих сфер. Следующим этапом в решении задачи строим недостающие горизонтальные проекции точек на горизонтальных проекциях секущих плоскостей, рассматривая их прохождение через поверхность конуса. Соединяя одноименные проекции точек получаем проекции линии пересечения поверхностей.

Такое поэтапное построение в пространстве и на чертеже способствует формированию понимания формы поверхностей, развития пространственного мышления, умение по модели самостоятельно выполнять чертежи.

Для построения чертежей возможно использование системы автоматизированного проектирования (САПР). Рассмотрим построение линии пересечения поверхностей на примере данных поверхностей в САПР Компас - 3D. При выполнении построений в Компас -3D достаточно построить одну из проекций детали, затем по ней с помощью определенного набора команд создать 3D модель [3, с.113] (рис. 3).

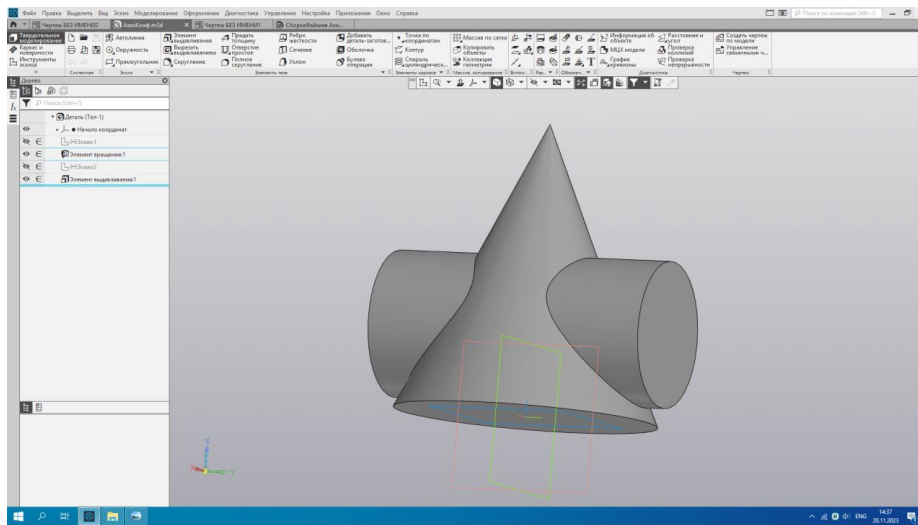


Рис. 3

Созданную модель пересекающихся поверхностей можно перемещать и располагать в различных ракурсах (рис. 3), что дает полное представление о форме изучаемых поверхностей.

При представлении этой модели необходимо описать представленное в пространстве. В этом случае, правильность определения расположения поверхностей в соответствии с чертежом детали проверяет преподаватель с устного описания студентом представленного. При создании моделей в Kompas - 3D студент может сопоставить самостоятельно своё представленное решение задачи в пространстве с решением задачи полученном в Kompas - 3D.

После построения модели в автоматическом режиме, возможно создание чертежа, при необходимости выполнение полезных разрезов, применяя набор стандартных команд и выполнение автоматической простановки размеров (рис. 4).

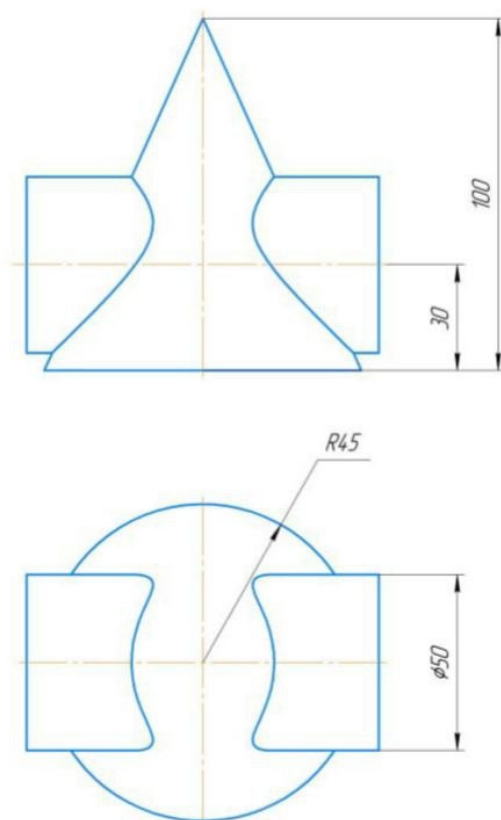
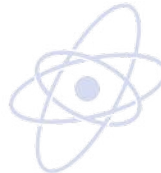


Рис. 4

Таким образом, выполнено решение одной и той же задачи с применением знаний дисциплины начертательная геометрия и знаний работы в САПР Компас -3D. Результаты, двух путей решения задачи – ортогональные чертежи.

В объеме решения данной задачи двумя способами можно выделить четыре этапа: первый этап – построение чертежа по условию задачи; второй этап – представление пространственной модели по чертежу; третий этап – построение фронтальной проекции линии пересечения; четвертый этап - построение горизонтальной проекции линии пересечения.

Для проведения анализа двух способов решения задачи на построение чертежа линии пересечения геометрических поверхностей нами построен график (рис. 5). В данном графике наглядно видны зависимости этапы работ (V) от времени (t). Видно, что на выполнение первого этапа работы в Компас - 3D затрачивается 5 минут, в то время как на выполнения этого же объема работы без использования Компас - 3D затрачивается 10 минут. Второй этап работы в Компас - 3D занимает 5 минут, без использования Компас - 3D - 3 минуты. Третий этап работы так же быстрее выполняется в Компас - 3D, а именно за 3 минуты, тот же объем без использования Компас - 3D требует по времени

затратить 12 минут. Четвертый этап работы в Компас 3D - 3 минуты, без использования Компас - 3D - 5 минут.

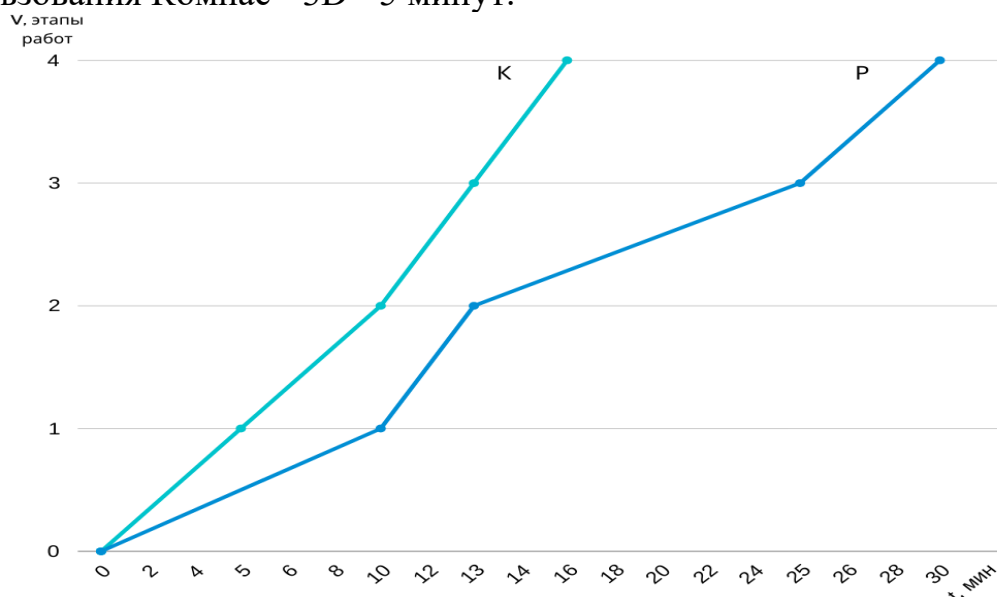


Рис. 5

Вывод сравнительного анализа заключается в том, что на самостоятельное решение задачи и построение при помощи чертежных инструментов с применением теоретической части начертательной геометрии в среднем студенты затрачивают 30 минут, а на построение в САПР Компас - 3D в среднем 15 минут, следовательно при решении данной задачи в Компас - 3D затрачивается в 2 раза меньше времени. При построении чертежей с применением знаний в начертательной геометрии, задействованы активные мыслительные процессы, на это затрачивается соответственно больше времени, чем при решении этой же задачи в системе автоматизированного проектирования Компас - 3D.

Студентам, как будущим специалистам атомно-ядерной отрасли необходимо знать, уметь и владеть САПР для будущей интенсификации их трудовой деятельности. Знать, уметь и владеть предметом начертательная геометрия необходимо для развития пространственного мышления, способствующего формированию у студентов образного мышления, что поможет в решении более сложных технических задач, как в процессе обучения на старших курсах, так и в последующей самостоятельной трудовой деятельности высококвалифицированных специалистов ядерной энергетической отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арустамов Х. А. Сборник задач по начертательной геометрии с решением типовых задач // Кнорус, 2020 г. – С.488
2. Гордон В. О., Семенцов-Огиевский М. А.: Курс начертательной геометрии // Высшая школа, 2009 г. – С.272
3. Большаков В. П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D // Практикум. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010 г. С.489

К ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Б.Б. Егамбердиев, А.Б. Артыкбаев

^{1,2} Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Ташкент, Узбекистан

В современных условиях экономического кризиса надежное электроснабжение промышленных объектов является одним из необходимых условий их нормального функционирования и развития. Повышение качества и надежности функционирования электрооборудования цеховых электрических сетей - наиболее актуальные проблемы промышленного электроснабжения. Надежность является важнейшим технико-экономическим показателем качества функционирования любой технической системы [1].

Надежность применительно к системам электроснабжения: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды. При этом объект должен быть работоспособным.

Под работоспособностью понимается такое состояние элементов электрооборудования, при котором они способны выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах установленных нормативно-технической документацией. При этом элементы могут не удовлетворять, например, требованиям, относящимся к внешнему виду [2].

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности оборудования, называется отказом. Причинами отказов могут быть дефекты, допущенные при конструировании, производстве и ремонте, нарушения правил и норм эксплуатации, естественные процессы изнашивания и старения. По характеру изменения основных параметров электрооборудования до момента возникновения отказа различают внезапные и постепенные отказы.

Надежность электрооборудования и систем электроснабжения электроустановки, используемые для преобразования, передачи и распределения электроэнергии, подвергаются воздействию большого количества факторов, которые можно подразделить на четыре группы: воздействия окружающей среды, эксплуатационные, случайные, ошибки проектирования и монтажа [3].

К факторам окружающей среды, где функционируют элементы электроустановок, относятся интенсивность грозовой и ветровой деятельности, гололедные отложения, обложные дожди, мокрый снег, густой туман, изморозь, роса, солнечная радиация и другие. Большинство из факторов окружающей среды приводятся в климатических справочниках.

Влияние окружающей среды на электрооборудование - это важный аспект, который нужно учитывать как при проектировании, так и при эксплуатации технических устройств. Различные аспекты окружающей среды могут воздействовать на электрооборудование:

1. Влажность и агрессивные среды: Высокая влажность, а также присутствие агрессивных химических веществ в воздухе (например, в промышленных помещениях, лабораториях и т.д.) может негативно повлиять на работу электрооборудования, привести к коррозии контактов, повреждению изоляции и другим проблемам.

2. Пыль и загрязнение: Накопление пыли и других загрязнений на поверхностях электрооборудования может снизить проводимость, привести к коротким замыканиям и повысить риск возгорания.

3. Температурные изменения: Резкие изменения температуры могут оказывать влияние на работу электрооборудования, особенно при использовании в условиях открытого пространства или на открытых участках.

4. Воздействие электромагнитных полей: Ряд оборудования (например, чувствительная техника, радиосвязь и прочее) может быть чувствительным к воздействию электромагнитных полей, которые могут быть созданы другими электротехническими устройствами.

5. Солнечное излучение: Устройства, установленные на открытом воздухе, подвержены воздействию ультрафиолетового излучения, которое влияет на изоляцию и пластиковые детали, что может уменьшить их срок службы.

Эксплуатационные проблемы электрооборудования могут быть разнообразными и включать в себя множество аспектов, связанных с его функционированием, обслуживанием и безопасностью. Вот несколько типичных проблем, с которыми можно столкнуться при эксплуатации электрооборудования:

1. Перегрев и перегрузка: Электрооборудование может подвергаться перегреву или перегрузке из-за неправильного использования, недостаточной вентиляции, износа или превышения номинальной мощности. Это может привести к сбоям в работе, а в некоторых случаях и к пожарам.

2. Износ и старение: Электрооборудование со временем подвержено износу, что может приводить к снижению его эффективности и безопасности. Провода, контакты, изоляция и другие компоненты могут терять свои характеристики из-за старения и эксплуатационных условий.

3. Коррозия и окружающая среда: Электрооборудование, особенно в открытых или влажных условиях, может быть подвержено коррозии и другим воздействиям окружающей среды, что ухудшает его работу и срок службы.

4. Неправильная эксплуатация: Некорректная установка, подключение или эксплуатация электрооборудования может также стать причиной возникновения проблем, включая аварии, пожары и травмы.

5. Потребность в техническом обслуживании: Регулярное техническое обслуживание электрооборудования для предотвращения отказов, обеспечения безопасности и повышения его долговечности является ключевым аспектом его эксплуатации.

Случайные факторы влияющие электрооборудования:

1. Электрические помехи: Наличие электрических помех, вызванных различными источниками, такими как коммутационные устройства, электромагнитные поля и т.д., может вызвать непредсказуемое поведение электронного оборудования и привести к его неисправностям.

2. Изоляционные нарушения: Старение изоляции или ее повреждение могут стать причиной коротких замыканий или других неполадок в электрооборудовании, что может повлиять на его работоспособность.

3. Неправильная настройка устройств: Неправильная настройка параметров устройств, таких как регуляторы напряжения или частоты, может привести к неполадкам или нежелательному функционированию электрооборудования.

4. Тепловые перегрузки: Недостаточная вентиляция или перегрузка электрооборудования может вызвать его перегрев и снижение эффективности, а в некоторых случаях, стать причиной аварий.

5. Электромагнитная совместимость: Оборудование, не имеющее должной защиты от электромагнитных полей, может быть подвержено влиянию внешних источников и привести к ошибкам в работе.

Ошибки в проектировании и монтаже электротехнического оборудования могут привести к серьезным проблемам и опасностям. Вот несколько типичных ошибок, которые могут возникнуть при проектировании и монтаже:

Ошибки в проектировании:

1. Недостаточное планирование емкости и предельных нагрузок: Некорректное определение электрической мощности, необходимой для обеспечения работы оборудования, может привести к перегрузке системы и аварийным отключениям.

2. Неправильное распределение нагрузки: Неравномерное распределение нагрузки на электрические схемы может вызвать перегрузку на одних участках и недостаточную нагрузку на других.

3. Использование устаревших стандартов: Проектирование с использованием старых или устаревших стандартов без учета современных технологий и требований безопасности может привести к недостаточному уровню защиты и безопасности.

4. Недостаточное обеспечение теплового режима: Отсутствие должной вентиляции, охлаждения или учета тепловыделения от оборудования может привести к его перегреву и досрочному выходу из строя.

Ошибки в монтаже:

1. Неправильное подключение проводов: Неправильное соединение проводов может привести к коротким замыканиям и возгораниям.

2. Неправильная установка защитных устройств: Неправильная установка или настройка защитных устройств, таких как автоматические выключатели и предохранители, может снизить эффективность защиты электрооборудования.

3. Использование несертифицированных компонентов: Монтаж оборудования с использованием несертифицированных или не соответствующих стандартам компонентов может привести к нарушению норм безопасности.

4. Недостаточное соблюдение ограничений по монтажу: Неправильное размещение и установка оборудования в непредусмотренных для этого местах может привести к потенциальным опасностям.

Для решения этих проблем важно учитывать эти факторы при выборе, установке и эксплуатации электрооборудования. Производители электрооборудования обычно предоставляют информацию о рабочих условиях и окружающей среде, в которой их продукция может надежно функционировать. Также существуют специализированные стандарты и рекомендации по монтажу и эксплуатации электрооборудования в различных условиях окружающей среды.

Большинство проблем, связанных с воздействием окружающей среды на электрооборудование, может быть сведено к минимуму правильным выбором оборудования, его монтажом и регулярным техническим обслуживанием.

Для решения следующих проблем могут применяться различные подходы, включая проведение регулярного технического обслуживания, использование интеллектуальных систем мониторинга, соблюдение стандартов безопасности и замены устаревшего оборудования новым.

Управление эксплуатационными проблемами электрооборудования требует постоянного внимания и усилий для обеспечения безопасной и эффективной работы оборудования в различных условиях.

Для избежания данных ошибок критически важно соблюдение правил проектирования и монтажа, а также использование квалифицированных специалистов в этих областях. Регулярные проверки, испытания и обслуживание являются также важными факторами для обеспечения безопасности и эффективной работы электротехнического оборудования.

Литература

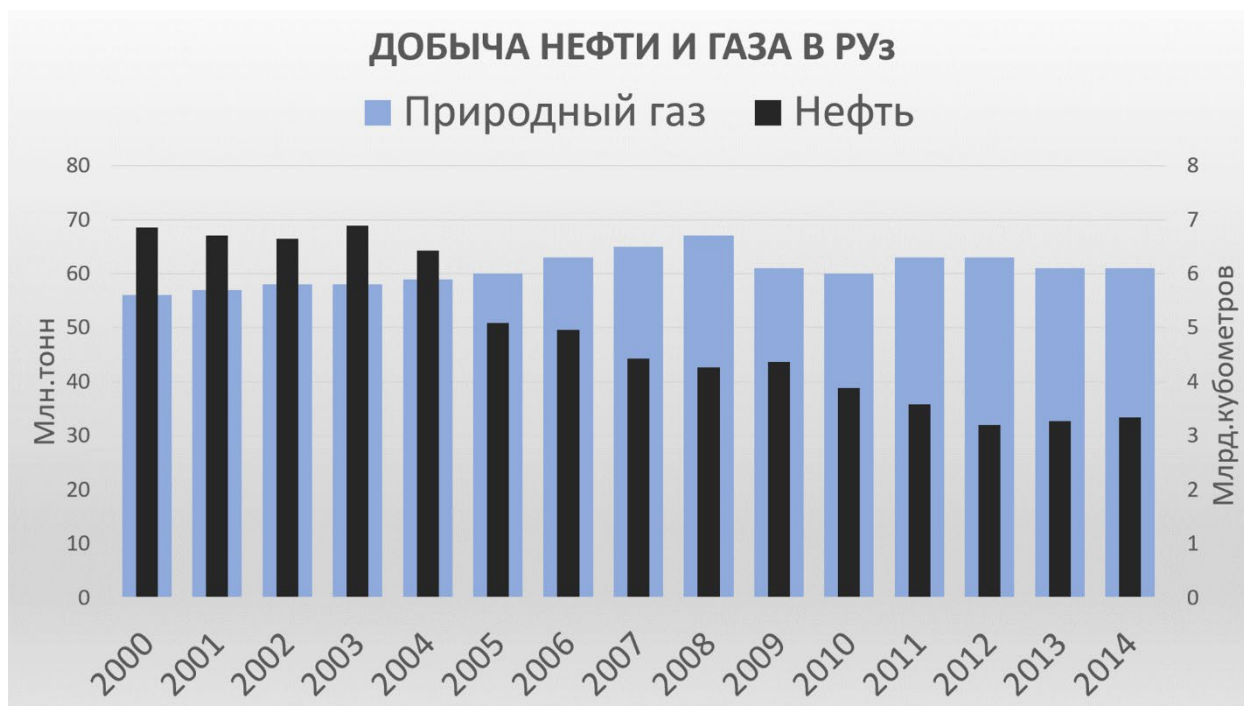
1. Калимуллина Р.М., Калимуллина Д.Д., Гафуров А.М. Исследование показателей надежности оборудования цеховых электрических сетей // Вестник КГЭУ. 2015. №4 (28).
2. Савоськин Н.Е. Надежность электрических систем. Уч.пос. Изд-во Пензенский гос.унив. Пенза 2004. 101 стр.
3. <https://electricalschool.info/main/ekspluat/697-nadezhnost-jelektrooborudovaniya-i.html>

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ

К Хакимова. Е.В.Иванова

Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Ташкент, Узбекистан

Ни для кого не секрет, что на данный момент человечество остро нуждается в дешевом источнике энергии, которой хватило бы на долгий срок, и которая пополнялась бы со скоростью превышающей скорость ее потребления. Взгляните на график добычи нефти и газа с 2000 года по 2014.



Тяжелый климатический кризис на планете приводит к необходимости скорейшего отказа от ископаемого топлива. В достижении данной цели большую роль играют альтернативные источники энергии, а именно энергии ветра.

Что же такое ветроэнергетика?

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, специализирующаяся на использовании энергии ветра - кинетической энергии воздушных масс в атмосфере.

Идея использования энергии ветра возникла еще в 200 годах до нашей эры. Её применяли в ветренных мельницах с целью перемалывания зерен в муку, откачивания воды с земель, окруженных дамбами, а также для орошения земли. Прошло более 2000 лет, а люди все также активно пользуются энергией ветра, создавая при этом ветрогенераторы и ветряные электростанции.

Принцип их работы заключается в том, что воздушные потоки вращают лопасти, а они, в свою очередь, приводят в движение генератор. Энергия из генератора попадает на подстанцию, там происходит стабилизация напряжения. Затем уже оттуда электричество поступает в энергетическую компанию, которая перенаправляет его к потребителям.



Скорее всего у каждого из присутствующих при упоминании ветрогенерирующей установки первое, что придет в голову – ветрогенератор типа мельница. Но именно у этого типа имеется большое количество минусов:

- шум;
- высокая стоимость оборудования;
- большой срок окупаемости;
- непостоянство ветра;
- ухудшение качества почвы, в которой расположены данные установки;

Известно, что скорость ветра с высотой, вследствие увеличения градиентов температур и давления, а также уменьшения эффектов трения, растет. При этом мощность ветра равна.

$$P_{\text{ветра}} = \frac{1}{2} \rho_{\text{возд.}} S_{\text{сеч.}} v_{\text{ветра}}^3 ,$$

где ($S_{\text{сеч.}}$) – площадь произвольного замкнутого контура, ($\rho_{\text{возд.}}$) – плотность воздуха, ($v_{\text{ветра.}}$) – скорость ветра.

Следовательно, даже при падении плотности воздуха с ростом высоты, количество энергии, скрытое в верхних слоях атмосферы, превышает в разы ее количество на поверхности.

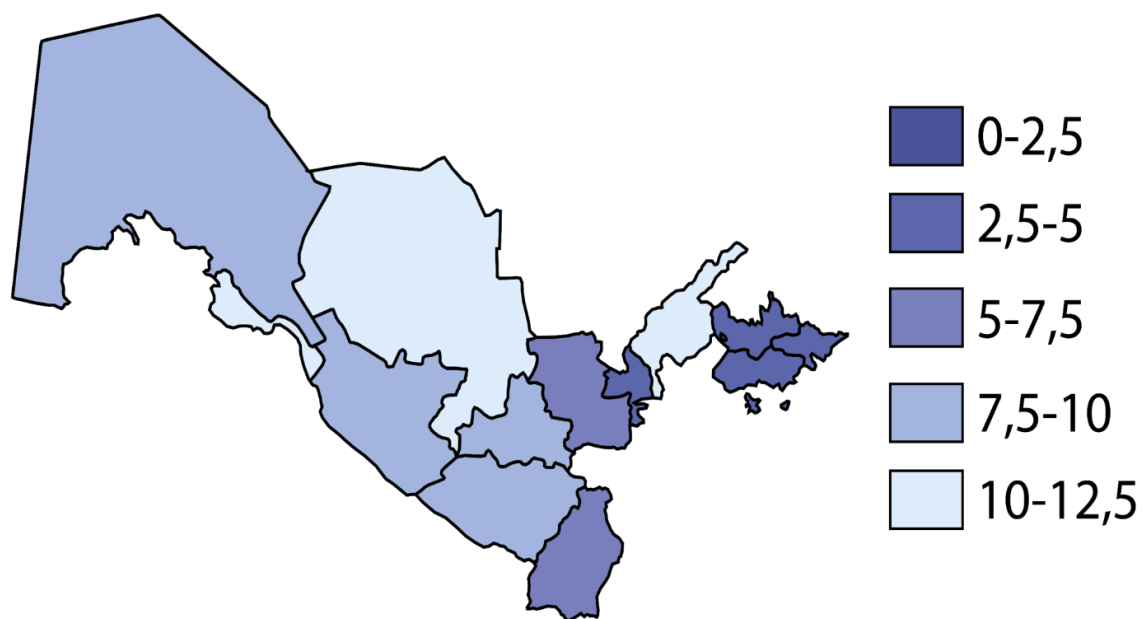
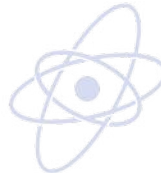
Для того, чтобы преодолеть ограничения традиционных ветровых турбин, и родилась идея летающего «ветряка».



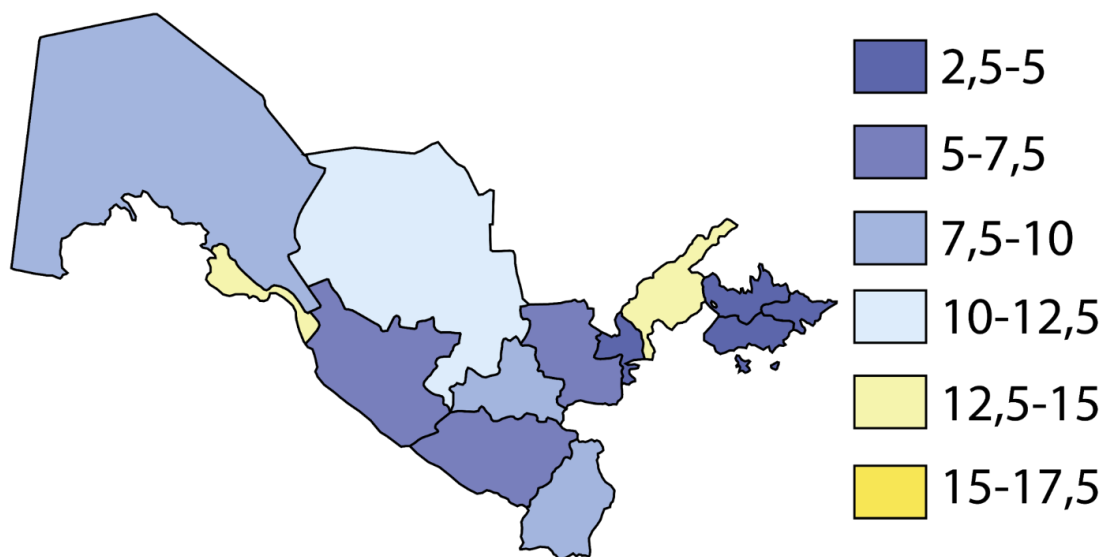
В марте 2014 года компания Altaeros Energies (американский стартап) запустила первый в мире летающий ветрогенератор Buoyant Airborne Turbine (далее ВАТ). Данная установка представляет собой кольцевую оболочку, заполненную гелием, в центре которой находится турбина и электрический генератор. Наземный модуль ветряной электростанции устанавливают на забитых в землю сваях и управляют положением летающей части при помощи троса и лебедки. Летающую же часть поднимают на высоту 300 метров, где сильнее и стабильнее дует ветер. Стоит также заметить, что данная конструкция способна выдержать ураган и сильную непогоду. Данный генератор вырабатывает 30 киловатт электроэнергии. Этого достаточно, чтобы обеспечить электричеством 12 среднестатистических домов. За счет новой технологии удалось снабдить электричеством жителей поселка на Аляске, недалеко от города Фэрбенкс.

В отличие от стационарных ветрогенераторов, этот летающий генератор не может вырабатывать большое количество энергии, необходимое для городов. Зато он может обеспечить электричеством небольшие поселки, военные базы, шахты, зоны, где после техногенных катастроф или стихийных бедствий нарушено обычное энергоснабжение.

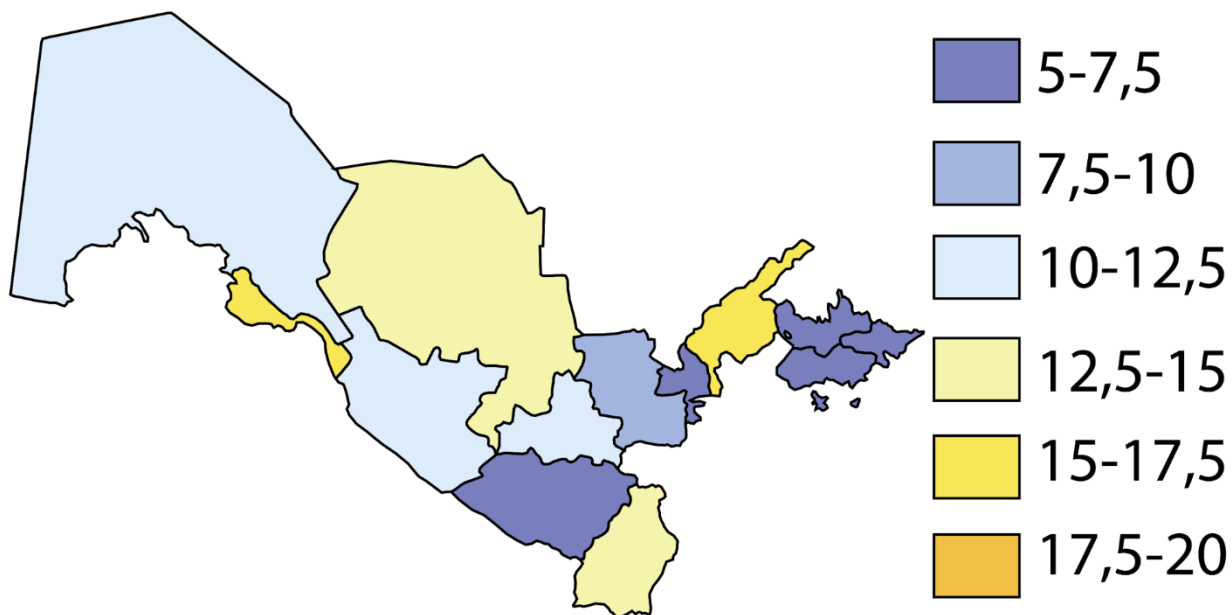
Работы в этом направлении ведутся и в Узбекистане. Была проведена серия экспериментов с использованием различного оборудования в горно-холмистой местности Ходжикента, подтвердившая, что скорость ветра стремительно возрастает с ростом высоты, что характеризует высокий энергетический потенциал идеи использовать технологии для сбора энергии и означает реальность применения технологий ветроэнергетики воздушного базирования в Узбекистане, что явно можно увидеть на ниже представленных картах ветров Узбекистана.



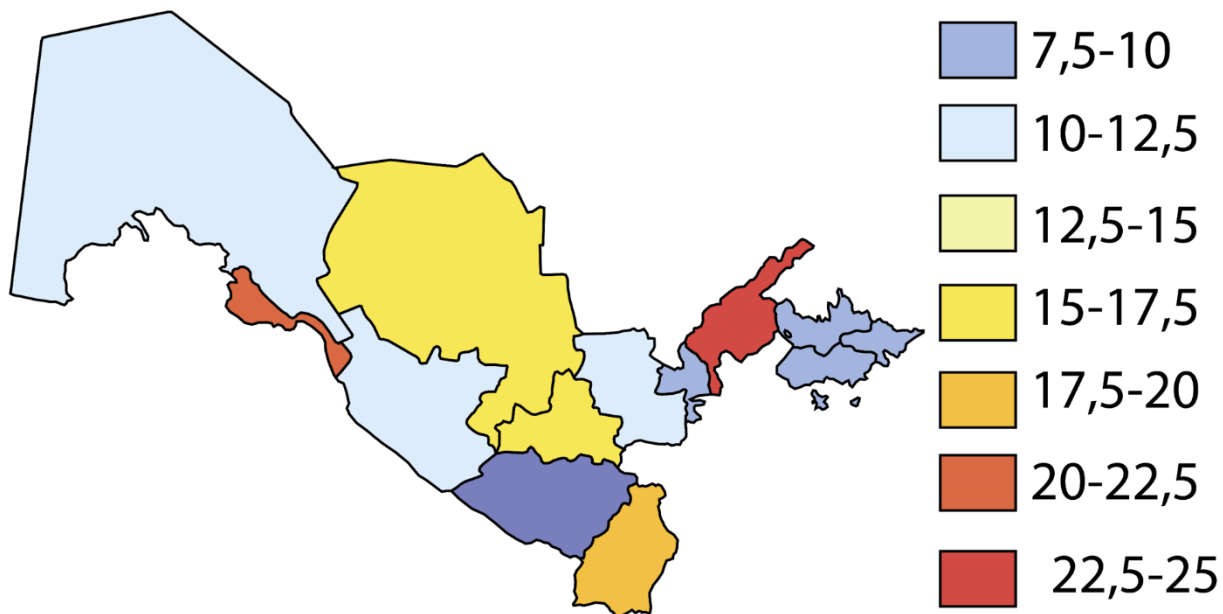
Скорость ветра на высоте 300 метров над поверхностью Узбекистана.



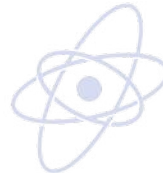
Скорость ветра на высоте 500 метров над поверхностью Узбекистана.



Скорость ветра на высоте 1000 метров над поверхностью Узбекистана.



Скорость ветра на высоте 5000 метров над поверхностью Узбекистана.



Autor maps: Mirfazylov Miraziz

Карта Узбекистана с указанием областей и городов.

Исходя из предоставленных карт можно сделать вывод, что наиболее выраженными областями являются Навоинская и Ташкентские области, а также город Ургенч.

Таким образом, экологическая чистота, высокая производительность и низкая стоимость «воздушной» электроэнергии являются залогом того, что у этого альтернативного вида ветроэнергетики большое будущее.

Список литературы

1. Возобновляемые источники энергии.- [https:// elibrary. ru](https://elibrary.ru)
2. Ветроэнергетика воздушного базирования.- [https// energy. hse. ru](https://energy.hse.ru)
3. Таджиев Э.Р., Иванова Е.В., Бондаренко К. Перспективы внедрения ветроэнергетики воздушного базирования в Республике Узбекистан. – [https//gubkin. uz](https://gubkin.uz)

СПЕКТРЫ ДВУХ- И ТРЕХФОТОННО-ВОЗБУЖДАЕМОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ПОРОШКАХ РОРОР ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

И.А. Рахматуллаев¹, Н.В. Чернега², Х.З. Ботиров³,
М.О. Илхомжонов¹, Н.Д. Нуржанова¹

¹Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Ташкент, Узбекистан

²Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской Академии наук, Москва, Российская Федерация

³Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан

***Аннотация.** Исследована многофотонно-возбуждаемая люминесценция в поликристаллическом ароматическом соединении 5-phenyl-2-[4-(5-phenyl-1,3-oxazol-2-yl)phenyl]-1,3-oxazole (РОРОР) при использовании для возбуждения излучения основной и второй оптических гармоник твердотельного лазера на алюмоиттриевом гранате ($\lambda=1064$ и 532 нм) работающего в режиме синхронизации мод. Обнаружена трехфотонно возбуждаемая люминесценция и исследована трансформация её спектра при понижении температуры. Обнаружено, что охлаждение образца до температуры жидкого азота приводило к увеличению интенсивности люминесценции в 4 раза.*

***Ключевые слова:** РОРОР, двух- и трехфотонно-возбуждаемая люминесценция, ароматические соединения, поликристаллы, лазер, фотолюминесценция, длина волны, спектр.*

В настоящее время интерес к исследованию многофотонных процессов в конденсированных средах связан с многообразием его чисто научных и прикладных аспектов. Исследование нелинейных оптических процессов позволяет получить новую ценную информацию об энергетической зонной структуре, процессах переноса энергии и заряда, о релаксационных процессах и т.п. Кроме того, в результате таких исследований появляются возможности создания новых типов элементов фотоники, квантовой электроники, систем оптической обработки информации. Наиболее исследованными на сегодняшний день являются двухфотонные процессы, которые используются не только для исследования структуры вещества, но и для решения целого ряда практических задач, таких как оптическое ограничение, двухфотонная накачка лазерных систем, а также в целом ряде приложений [1-3].

Для трехфотонного процесса (прежде всего трехфотонно возбуждаемой люминесценции (ТВЛ)) характерен более широкий спектральный интервал между излучением накачки и откликом среды, что существенно расширяет использование этого процесса для задач микроскопии, прежде всего в биологии и медицине для увеличения контраста в изображении биообъектов [4]. Кроме того, кубическая зависимость эффективности трехфотонного процесса от интенсивности возбуждающего излучения обеспечивает возможность более сильного пространственного ограничения, что также существенно расширяет области практического применения.

Ароматическое соединение 5-phenyl-2-[4-(5-phenyl-1,3-oxazol-2-yl)phenyl]-1,3-oxazole ($C_{24}H_{16}N_2O_2$, РОРОР) является известным сцинтиллятором и характеризуется высокой эффективностью фотолюминесценции. При комнатной температуре кристаллическая структура РОРОР является моноклинной. Пространственная группа симметрии $P2_1/c(C_{2h}^5)$ [5-7]. Параметры элементарной ячейки имеют следующие значения: $a=9.2$, $b=5.3$ и $c=19.3$ Å, её объем составляет $V=942$ Å³. В элементарной ячейке находится 2 молекулы. Исследовался порошок РОРОР, помещенный в специальную кювету, толщиной 2 мм, позволяющей проводить измерения как при комнатной температуре, так и при температуре жидкого азота.

В настоящей работе ставилась задача исследования многофотонно-возбуждаемой люминесценции поликристаллического РОРОР при накачке лазерными импульсами пикосекундной и, для сравнения, наносекундной длительности, при различных условиях возбуждения.

Возбуждение вторичного излучения осуществлялось твердотельными лазерами на алюмо-иттриевом гранате (1) с длинами волн 1064 и 532 нм, работающими в режиме синхронизации мод (длительность импульса 30 пс) и, для сравнения, модуляции добротности (длительность импульса 30 нс) [3].

При использовании для возбуждения импульса второй гармоники *Nd:YAG* лазера длительностью 30 пс, в спектре вторичного излучения регистрировалась люминесценция в антистоксовой по отношению к накачке области спектра (440-570) нанометров, а также вынужденные две линии комбинационного рассеяния (ВКР) света, со спектральными смещениями 1607 и 1510 см⁻¹ (Рис.1). Отметим, что охлаждение образца до температуры жидкого азота приводило к увеличению интенсивности ВКР и люминесценции в 4 раза.

На рис. 2 показан спектр люминесценции РОРОР при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 1064 нм и длительностью импульса 30 пс, полученный при температуре жидкого азота.

Учитывая, что интенсивность люминесценции пропорциональна Γ^n , где $n=1$ для однофотонного процесса, $n=2$ для двухфотонного процесса и $n=3$ для трехфотонного процесса, можно сделать вывод, что исследуемую люминесценцию в антистоксовой области спектра, возбуждаемую в порошке РОРОР излучением второй гармоники *Nd:YAG* лазера, можно отнести к ДВЛ, а люминесценцию, возбуждаемую излучением с длиной волны 1,06 мкм к ТВЛ. Отметим, что охлаждение образца до температуры жидкого азота приводило к увеличению интенсивности люминесценции в 4 раза [7].

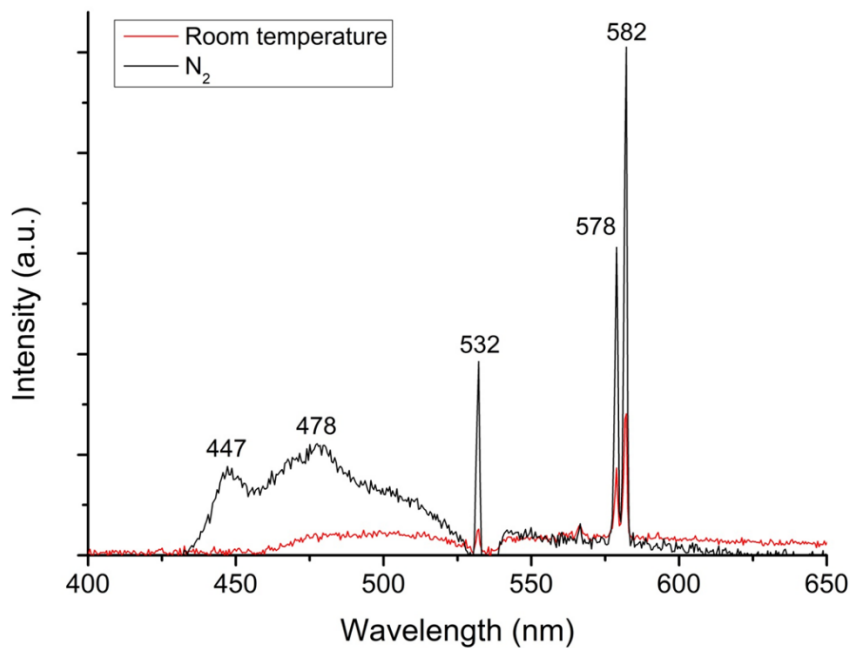


Рис. 1. Спектр вторичного излучения РОРОР, зарегистрированный при возбуждении пикосекундными импульсами (532 нм).

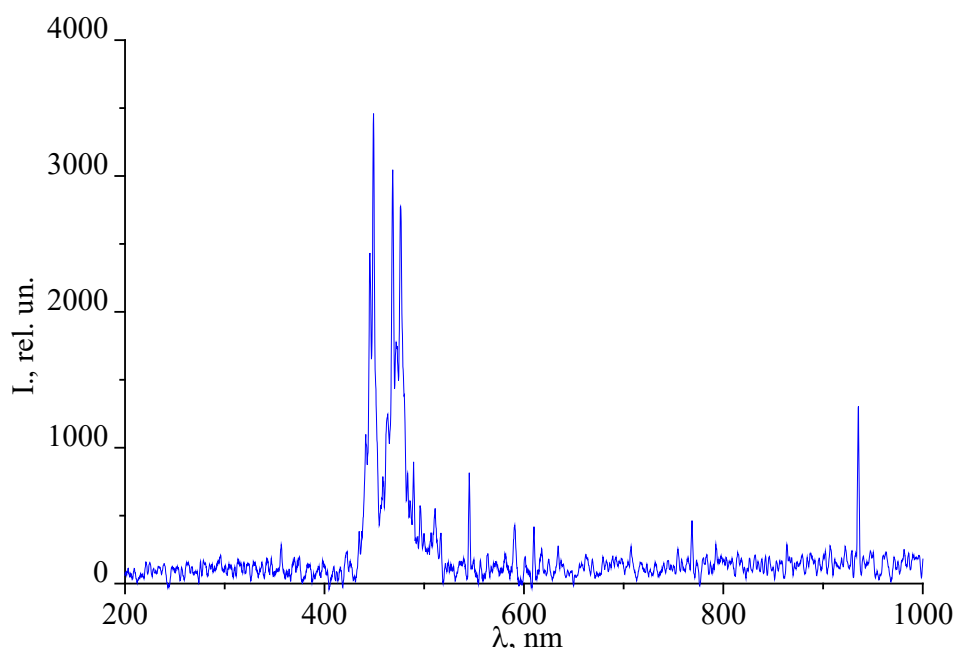


Рис. 2. Спектр вторичного излучения РОРОР, зарегистрированный при возбуждении пикосекундными лазерными импульсами (1064 нм).

Таким образом, в работе впервые была экспериментально получена трехфотонно возбуждаемая люминесценция в порошке РОРОР при использовании для возбуждения излучения основной гармоники *Nd:YAG* лазера нано- и пикосекундной длительности и исследована трансформация спектра многофотонно возбуждаемой люминесценции при переходе от комнатной температуры образца к температуре жидкого азота.

Список литературы

1. V. I. Bredikhin, M. D. Galanin, V. N. Genkin. Two-photon absorption and spectroscopy // *Soviet Physics Uspekhi*, 1973, Vol. 16, Issue 3, p. 299–321.
2. Q. Liu, B. Guo, Z. Rao, B. Zhang, J. R. Gong. Strong two-photon-induced fluorescence from photostable, biocompatible nitrogen-doped graphene quantum dots for cellular and deep-tissue imaging // *Nano Letters*, 2013, Vol. 13, Issue 6, p. 2436–2441.
3. M. Tareeva, M. Shevchenko, S. Umanskaya, V. Savichev, A. Baranov, N. Tcherniega, A. Kudryavtseva. Two-photon excited luminescence in polyethylene and polytetrafluoroethylene // *Journal of Russian Laser Research*, 2020, Vol. 41, Issue 5, p. 502–508.

4. Shaowei Wang, Wang Xi, Fuhong Cai, Xinyuan Zhao, Zhengping Xu, Jun Qian, Sailing He Three-Photon Luminescence of Gold Nanorods and Its Applications for High Contrast Tissue and Deep In Vivo Brain Imaging, //Theranostics 2015; Volume 5(3): 251-266. doi: [10.7150/thno.10396](https://doi.org/10.7150/thno.10396).
5. I. Ambats, R. E. Marsh. The crystal structures of 2,2'-p-phenylenehis(5-phenyloxazole) - 'POPOP' // Acta Crystallographica, 1965, Vol. 19, Part 6, p. 942–948.
6. D. Schindler, M. Felsmann, E. Weber. Influence of 1,4-dioxane solvent inclusion on the crystal structure of 5,5'-diphenyl-2,2'-(p-phenylene)-di-1,3-oxazole (POPOP) // Acta Crystallographica C, 2010, Vol. 66, Part 7, p. o361–o363.
7. I.A.Rakhmatullaev, A.K.Kurbonov, Kh.Z.Botirov, S.F. Umanskaya, M.A. Shevchenko, A.N. Maresev, A.D. Kudryavtseva, A.Yu. Pyatyshev, N.V. Tcherniega. Spectral and temporal properties of 5-phenyl-2-[4-(5-phenyl-1,3-oxazol-2-yl)phenyl]-1,3-oxazole (POPOP) multiphoton-excited luminescence // Journal of Luminescence. – 2023, Vol. 263, p.120098(1-7). doi.org/10.1016/j.jlumin.2023.120098

Enhancing the durability of rock-cutting tools through radiation and magneto-impulse treatment

A.S. Filipenko, G.M. Khalmirzaev

Tashkent branch of the National Research Nuclear University "MEPhI"

Abstract

In the mining industry, various rock-cutting tools (RCT) with high durability are widely used for drilling wells. The efficiency of well or borehole drilling, especially in hard rock formations, is significantly influenced by the operational characteristics of RCT.

This study investigates the impact of gamma irradiation and magneto-impulse treatment on the durability of RCT, aiming to determine the optimal regime for bulk strengthening to enhance their mechanical properties and operational performance.

Introduction

The prospective application of hard alloy tools with high durability in the mining industry is crucial for drilling efficiency in hard and abrasive rock formations. The operational characteristics of these tools directly impact drilling performance, considering various parameters and conditions.

Various methods, including the development of new materials and modification of existing ones, are employed to enhance durability. However, traditional approaches like nitriding and boriding have limitations in surface strengthening, particularly in their effectiveness.

In this context, a promising direction is the application of radiation and magneto-impulse treatment. Gamma irradiation, characterized by high penetration capability and safety, proves to be an effective method for improving the durability of hard alloy tools.

Research indicates that the strengthening of the structure of hard alloys during gamma irradiation depends on the radiation dose. While increasing defect density can contribute to improved durability, an excessive dose may reduce operational parameters.

Magneto-impulse treatment (MIT) stands out as an effective method for bulk strengthening of hard alloy tools. The application of MIT enhances material

properties by increasing thermal and electrical conductivity, along with improving fatigue and overall strength.

The combination of radiation and magneto-impulse treatments presents a promising approach to enhance the durability of hard alloy materials. This study focuses on developing an optimal regime for bulk strengthening of hard alloy tools through the combined impact of gamma radiation and MIT.

Materials and Methods

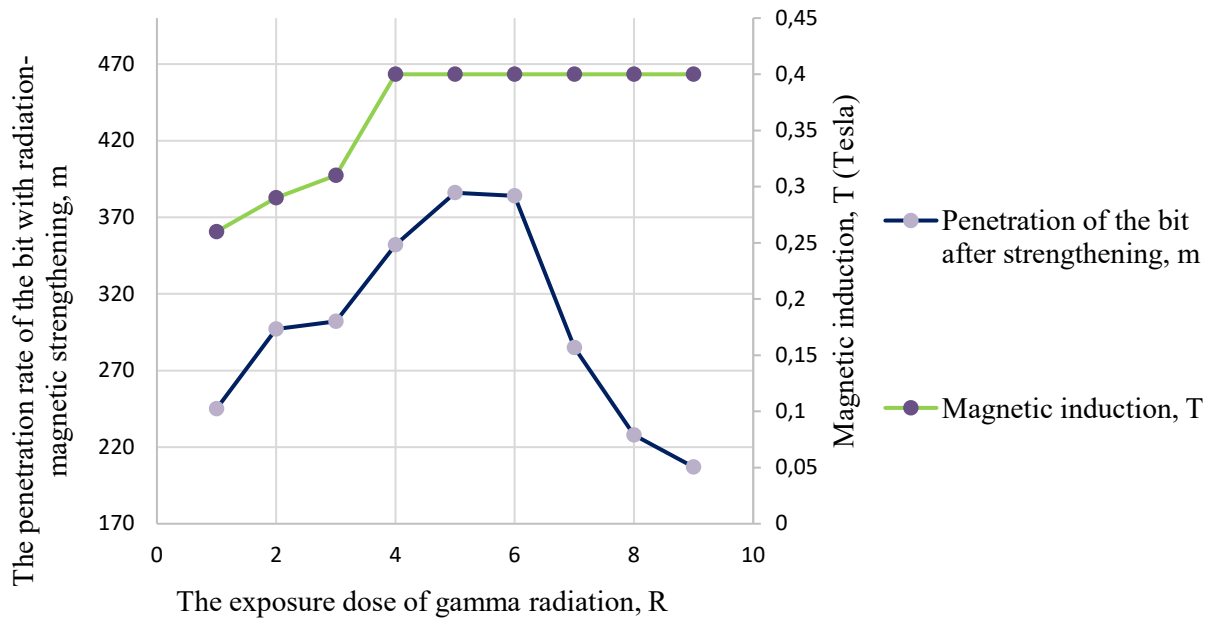
The test subjects are industrial samples of 3-blade pico-drills DZL Ø118mm (with blades made of VK-8 hard alloy) used in mining enterprises of the Republic of Uzbekistan. These drills are characterized by high strength and durability with an average hardness of 88 HRA (Rockwell). The VK8 hard alloy consists of 8% cobalt and 92% tungsten carbide, serving as a composite material.

During the magneto-impulse strengthening (MIS), an impulse electric current flows through the inductor, generating magnetic field lines that concentrate on the specimen undergoing strengthening (drilling tool). The specimen is placed in the magnetic circuit gap, where an induction current proportional to the rate of magnetic flux change across its cross-section occurs on its surface. The direction of the magnetic field of the induction current is aimed at reducing the change in magnetic flux created by the inductor's current. This results in the formation of a difference in energy field densities inside the hard alloy tool and on its surface.

The experiments utilize a technology for bulk strengthening of rock-breaking tools, combining gamma-ray irradiation and treatment in a pulsed magnetic field.

Experimental Results and Discussion

The analysis of the obtained results revealed that, after the combined treatment of specimens, the penetration of the three-blade DZL drills increases, and the maximum strengthening effect is determined by the dose of gamma irradiation. The enhancement of durability in specimens after combined treatment exhibited a non-monotonic character. The peak durability value was reached in the dose range of $\sim 5.5 \times 10^5$ R with a magnetic induction of 0.4 tesla (Figure 1).



Field test results of DZL pico-drills indicate a significant increase in the penetration of rock-breaking tools with combined treatment, exceedingly more than threefold. The strengthening effect depends on the dose of gamma irradiation, reaching its maximum at an absorbed dose of 2.5×10^4 to 5.5×10^5 R. To monitor the durability of strengthening during prolonged storage, microhardness was measured both individually and in combined radiation-magnetic treatment. It was established that the strengthening effect persists after gamma irradiation for 5–6 months, after magnetic-impulse treatment for 3–4 months, and after combined treatment for at least a year, after which degradation occurs with the disappearance of strengthening.

To assess the strengthening of various hard alloys and determine their durability after gamma irradiation and magnetic treatment, various drill bits were tested under conditions of drilling hard rocks of category VIII with a drilling speed of 11.0–15.1 m/h. The research confirmed that the strengthening of rock-breaking tools after radiation-magnetic treatment increases, and the maximum effect is achieved for bits made of the VK8 hard alloy, despite similar initial microhardness. This difference is likely related to the composition and sizes of the structural heterogeneity formed in the process of creating the composite material.

Analysis of the Obtained Results

–Gamma and electron irradiation of hard alloys used for DZL drill bits leads to an increase in strength within a limited range of absorbed radiation doses. Treatment in the high-dose range results in increased brittleness and, consequently, reduced durability of rock-breaking tools.

–The maximum strengthening effect achieved by combined treatment of rock-breaking tools after irradiation with gamma rays from ^{60}Co , followed by processing in a magnetic-impulse field, has been identified. Optimal regimes of radiation-magnetic treatment have been determined, allowing for an increase in durability by more than threefold.

–The mechanism of the physico-chemical strengthening process occurring in hard alloys under the influence of penetrating radiation and a magnetic-impulse field is considered. This process involves the formation of low-dimensional associations at the boundaries of crystalline phases in the composite hard alloy.

Literature review

1. Morev A.A., Ryabchikov S.Ya. Methods of bulk strengthening of rock-cutting tools and the assessment of the prospects for further research. Institute of Natural Resources, Tomsk Polytechnic University. 2014.
2. Ryabchikov S.Ya. Bulk strengthening of carbide and diamond rock-cutting tools to improve their operational performance: Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Tomsk, 2002.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ММР ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН ПО МЕТОДОЛОГИИ RTA, МАГАТЭ

Э.С.Шин, Н.Ж.Эркабаева, Ш.Б.Умаров

Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ», Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация. В работе рассматриваются малые модульные реакторы (ММР) и их перспективны применения в Республике Узбекистан. В результате исследования, с помощью методологии МАГАТЭ, Reactor Technology Assessment (RTA), сравниваются пять малых модульных реакторов.

Ключевые слова: малые модульные реакторы (ММР), атомная электростанция (АЭС), Reactor Technology Assessment (RTA).

SELECTION OF MMR TECHNOLOGY FOR THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN ACCORDING TO RTA METHODOLOGY, MAGATEH

Abstract. The paper deals with small modular reactors (SMRs) and their prospective applications in the Republic of Uzbekistan. As a result of the study, five small modular reactors are compared using IAEA methodology, Reactor Technology Assessment (RTA).

Keywords: small modular reactor (SMR), nuclear power plant (NPP), Reactor Technology Assessment (RTA).

Почти 63% всей электроэнергии в мире производится за счёт ископаемого топлива, угля в первую очередь. В Узбекистане это цифра достигает почти 90%. Для помощи в достижении цели по диверсификации энергетического баланса и в борьбе с энергетическим кризисом страны в будущем, одним из решением является ядерная энергетика.

В сравнении с традиционными источниками электроэнергии, АЭС не нуждается в транспортировке огромного количества топлива, как, например, угольные электростанции. К примеру, 1 килограмм урана с обогащением в 4%, при полном выгорании способен выделить энергию, эквивалентную сжиганию около 100 тонн высококачественного каменного угля или 60 тонн нефти. Также нельзя не упомянуть возможность повторного использования ядерного топлива. В перспективе возможен полный переход на замкнутый топливный цикл, что означает почти полное отсутствие ядерных отходов.

Как известно, в Республике Узбекистан планируется построить АЭС с двумя реакторами ВВЭР-1200, общей мощностью 2.4 гигаватта. Это большие мощности, которую покроют значительную часть потребности в энергии нашей страны и помогут в достижении энергетических целей Узбекистана. Но, важно учесть несколько факторов:

1. Потребности страны в энергии растут с каждым годом, но площадки для постройки таких больших атомных станций у нас очень ограничены, их буквально можно пересчитать на пальцах одной руки.

2. Реакторы ВВЭР-1200 имеют большую единичную мощность, 1.2 гигаватта. Это означает необходимость в модернизации текущей энергосистемы страны под такие мощности, что влечёт за собой дополнительные затраты.

3. Для перезагрузки топлива в реакторе, необходимо его полное отключение. Что значит, на время перезагрузки реактор не будет производить электроэнергию и нужно будет это как-то компенсировать.

Для многих стран с ограниченной сетевой инфраструктурой традиционные АЭС большой мощности, например, с реакторами ВВЭР-1200 могут оказаться непригодными. АЭС с двумя блоками ВВЭР-1200 дает установленную мощность в 2 400 МВт, а это огромное количество энергии, которое может оказаться чрезмерным для стран, где централизованные энергетические системы и сети не развиты.

Говоря о малых модульных реакторах, по данным международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), малые модульные реакторы (ММР) – это ядерные реакторы, имеющие мощность не выше 300 МВт(эл.). На данный момент в мире насчитывается более 80 проектов и концепций ММР [1-2].

Основным преимуществом технологии ММР для Республики Узбекистан является единичная мощность ММР, которая сопоставима с единичной мощностью электростанций в энергосистеме Узбекистана. В связи с чем, внедрение малых модульных реакторов не требует значительной модернизации текущей энергосистемы страны и прокладки дорогостоящих линий электропередач. Более того, ММР имеют более гибкие требования к площадке размещения для АЭС с ММР что является решающим фактором для Узбекистана.

Поскольку Узбекистан переживает энергетический кризис, ММР могут сыграть значительную роль в достижении сбалансированного и устойчивого энергетического будущего страны и региона. Настоящая работа нацелена на выбор наиболее подходящей технологии ММР для нужд Республики Узбекистан по методологии МАГАТЭ.

RTA (Reactor Technology Assessment) – это методология, разработанная МАГАТЭ, позволяющая странам-участникам качественно и количественно оценить подходящую реакторную технологию, соответствующую национальным требованиям, потребностям и целям [3].

Методология предлагает 8 шагов для качественного выбора реакторных технологий.

1. Для начала необходимо определить критерии и требования, которые основаны на энергетических целях региона или страны. Это могут быть мощность реактора, размеры площадки и другие эксплуатационные характеристики.

2. Далее необходимо установить относительную важность каждого из критериев и требований. Например, для какой-то страны важен размер площадки, нежели цена топлива. Или низкое потребление воды, чем сроки строительства.

3. Определить технологию АЭС, которые потенциально могут соответствовать данным требованиям. Это может быть определенный тип реакторов, как водо-водяные или кипящие реакторы, или реакторы не ниже определенной мощности.

4. Необходимо собрать информацию для каждой реакторной технологии. В этом может помочь как сам поставщик, так и МАГАТЭ.

5. Провести предварительную оценку по методологии, учитывая все вышеперечисленные этапы.

6. После предварительной оценки необходимо также оценить факторы неопределенности оценки и их влияние.

7. Далее провести оценку, учитывая предыдущие факторы.

8. Затем сделать отчет о проделанной работе.

В инструменте представлены ключевые элементы (КЕ) и критерии (КТ), которые позволяют оценить параметры реакторной технологии. Наибольшей приоритет, 15% каждый, мы дали трём КТ, это:

- ядерная безопасность (nuclear safety);

- проектирования и эксплуатация площадки АЭС (Nuclear Island Design and Performance);

- экономика и финансирование (economic and financing).

К инструменту МАГАТЭ прилагает 178 страничный документ [3], в котором описывается каждый ключевой элемент и описываются все 73 топика, а также приводятся примеры оценки по данной методологии, для выдуманной страны.

В первой части документа приведены описания и вопросы для каждого КТ и КЕ, которые могут помочь собрать информацию.

Например, КТ 2.6. В этом топике рассматривается насколько АЭС адаптирована к использованию различных типов топлива, HALEU или MOX-топливо. Также учитывается доступность и конкурентоспособность различных материалов. Также приводятся вопросы, которые могут помочь найти необходимую информацию:

1. Позволяет ли конструкция обеспечивать гибкость с различными видами топлива, включая более высокое обогащение урана, MOX, ториевое топливо?

2. Какая часть MOX - 20%, 50%, 100% - может быть использована в реакторе?

Или КТ 4.3. Продолжительность жизненного цикла электростанции.

Этот КТ касается периода времени, во время которого предполагается эксплуатация АЭС. Оценка срок службы АЭС может включать следующие значения:

— Экономический срок службы и спецификация физического срока службы (в годах);

— Ограничения оборудования или компонентов и их сроки службы;

— Заменяемость компонентов, предназначенных для замены в течение жизненного цикла станции

(включая влияние на доступность в течение жизненного цикла станции).

Результаты работы.

Выделив несколько наиболее продвинутых реакторных технологий, такие как:

1. NuScale (США);

2. BWRX-300(США & Япония);

3. RITM-200N (Россия);

4. SMART (Корея & Саудовская Аравия);

5. ACP100(Китай);

И применив методологию RTA, мы получили результаты, которые позволяют выбрать наиболее подходящую технологию ММР для Республики Узбекистан.

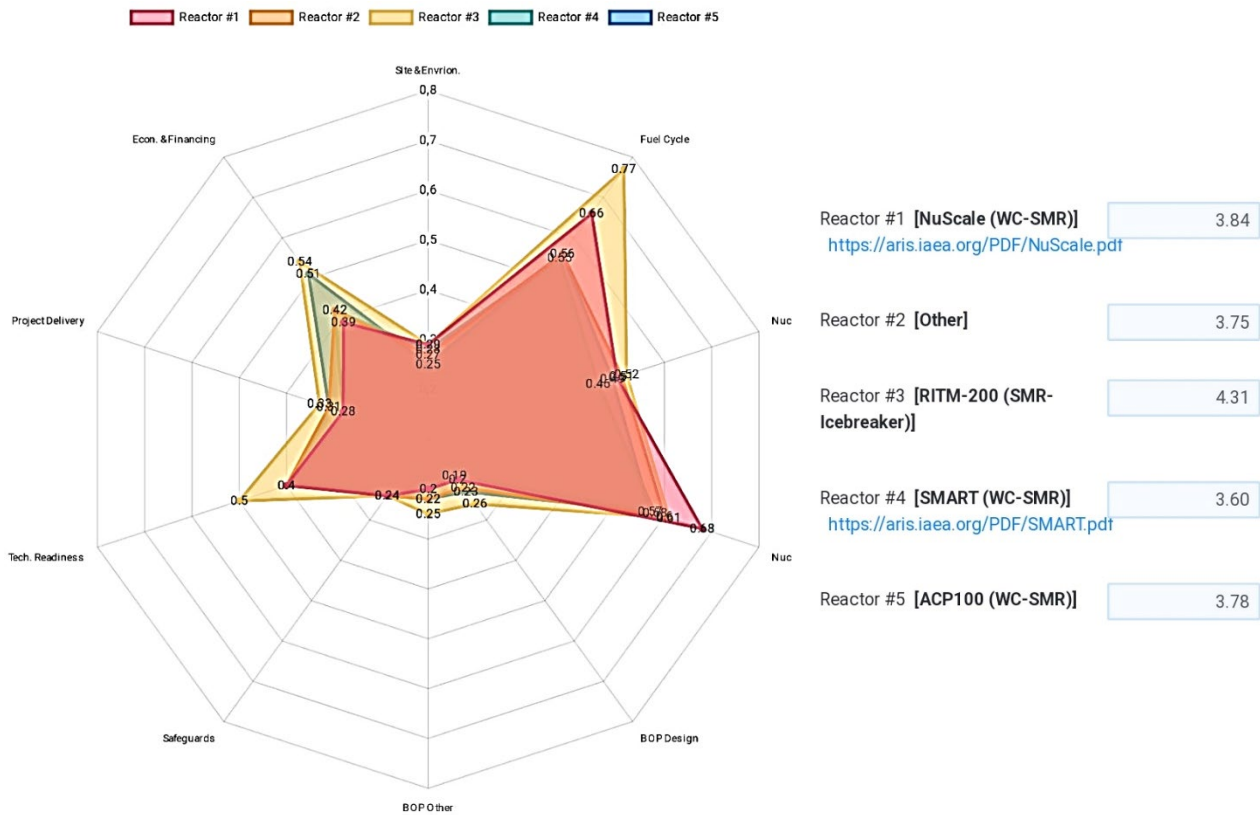


Рис. 1. Результаты оценки технологии ММР по методологии RTA МАГАТЭ

На четвертом и пятом месте оказались SMART и BWRX-300 соответственно. На втором и третьем – ACP100 и NuScale, а на первом месте – RITM-200N. Некоторые из оценок, в первую очередь, были связаны с тем, что RITM-200N был основан на готовой технологии RITM-200, которые серийно производятся и успешно функционируют на атомных ледоколах в Арктике.

Проанализировав результаты работы, можно сделать вывод, что на данный момент, наиболее подходящей реакторной технологией, для Республики Узбекистан, является RITM-200N.

Однозначно, малые модульные реакторы могут оказать существенный толчок в развитии мировой промышленности. Требуется, чтобы большинство всех существующих проектов была реализована, что даст не только сильный рывок в развитии атомных технологий, но и сможет заинтересовать множество молодых специалистов, благодаря которым появится много проектов. Использование ММР в разных сферах сможет сделать атомную энергетику более общепринятой, доступной и безопасной

На данный момент, в мире, рынка ММР нет. Но в ближайшие годы реализуются первые масштабные проекты, что даст возможность полноценно оценить реальную экономику этого направления, определить его объем рынка и возможность повлиять на всю атомную промышленность в целом.

Источники и Литература:

1. <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>
2. <https://atomenergoprom.ru/nuclear/>
3. IAEA Nuclear Energy Series. Nuclear Reactor Technology Assessment for Near Term Deployment No. NR-T-1.10 (Rev. 1), IAEA, 2002
4. Advances in Small Modular Reactor Technology Development. IAEA Advanced Reactors Information Systems (ARIS), IAEA, 2020
5. Status Report – BWRX-300 (GE Hitachi and Hitachi GE Nuclear Energy), USA, IAEA, DATE (2019/9/30)
6. Status Report – NuScale SMR (NuScale Power, LLC), United States of America, IAEA, 2020/05/28
7. Status report 77 - System-Integrated Modular Advanced Reactor (SMART), IAEA
8. Status of Small and Medium Sized Reactor Designs, IAEA 2011

Assessing the Consequences of a Hypothetical Severe Accident in a Small Modular Reactor in Uzbekistan

M.Kholboeva Sh.Umarov

National Research Nuclear University «MEPHI in Tashkent

Abstract. In this study, it is analyzed the consequences of the hypothetical accident. The selected hypothetical worst-case scenario for this study is release of radioactivity. The computer code HotSpot is used to calculate the total effective dose equivalent (TEDE) after the hypothetical accident. The calculation of source terms was begun with calculation of in-vessel reactor inventory for 100 MWe SMART Korean SMR at the average burnup of 35 MWD/KGU [3] using OpenMC Monte Carlo transport particle simulation code. The visualizations were provided by Google Earth Pro.

Keywords: HotSpot, TEDE, SMART Korean SMR, OpenMC Monte Carlo transport particle simulation code, Google Earth Pro.

In 2021 Uzbekistan increased its quantitative obligations in NDC2 committed under the Paris Agreement, and announced intentions to reduce specific greenhouse gas emissions per unit of GDP by 35 percent by 2030 from the 2010 level. Undoubtedly, integration of nuclear energy into energy balance of the country is the key strategy to achieve the carbon neutrality goals of the country. However, due to geological and hydrological and energy grid constraints, Uzbekistan may face challenges in identifying suitable sites for a sufficient number of large-scale power plants.

Nonetheless, there is a promising advancement in the field of nuclear energy known as small modular reactors (SMRs), which have a relaxed geological and hydrological constraints. Due to advantageous attributes like enhanced safety, small unit power, diminished water make-up, and a more compact spatial footprint, SMRs can be located in more urban settings to provide reliable and resilient energy and increases the number of potential sites for nuclear power installations [1].

In this study, it is assumed that the 100 MW SMR is built on the territory of the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and analyzed the consequences of the hypothetical accident. The selected hypothetical worst-case scenario for this study is release of radioactivity through 30 m height ventilation stack of SMR after a core damage caused by an extended station blackout (SBO) without mitigation strategies. From probabilistic risk assessment point of view, this scenario has low probability but it has highly risk.

The computer code HotSpot is used to calculate the total effective dose equivalent (TEDE) after the hypothetical accident. The HotSpot is aimed at providing Healthy Physics for personal and population around the reactor sites. The HotSpot code uses a Gaussian plume model (GPM) to calculate the air concentration and TEDE from nuclides release to the atmosphere [2].

The calculation of source terms was begun with calculation of in-vessel reactor inventory for 100 MWe SMART Korean SMR at the average burnup of 35 MWD/KGU [3] using OpenMC Monte Carlo transport particle simulation code [4]. Accident source term released to the environment calculated based on severe accident source term characteristics described in NUREG/CR-5942 [5]. Table 1 below shows the activity released to the atmosphere by the representative important radionuclides.

Table 1 The representative important radionuclides and the activity released to the atmosphere

Nuclide	Group	Accident source term, (Bq)	Nuclide	Group	Accident source term, (Bq)
Kr-85m	Noble gas	1.97E+15	Cs-137	Alkali metal	1.02E+09
Kr-88	Noble gas	5.52E+15	Te-132	Chalcogen	3.71E+10
Xe-133	Noble gas	2.43E+15	Ba-139	Alkali earth	4.74E+10
I-131	Halogen	6.66E+10	Ba-140	Alkali earth	4.78E+10
I-132	Halogen	9.74E+10	Sr-90	Alkali earth	1.95E+09
I-133	Halogen	1.38E+11	Mo-99	Group 6	4.87E+10
I-134	Halogen	1.53E+11	Ru-106	Iron group	1.17E+10
I-135	Halogen	1.32E+11	Rh-105	Group 9	2.47E+10
Rb-88	Alkali metal	3.68E+07	Y-90	Scandium gr.	2.04E+09
Cs-134	Alkali metal	3.43E+09	Y-91	Scandium gr.	3.45E+10

The data of radionuclides and their activities was provided by OpenMC Monte-Carlo transport particle simulation code. For the input we chose characteristics of Korean Small modular reactor SMART. OpenMC code calculated accident source term. The accident source term provides information about types and quantities of radioactive substances that could be released into the environment in the case of an accident in a nuclear power plant. Understanding accident source term is crucial for researchers and nuclear power plant workers, because with this information we can predict the dispersion and transport of radioactive materials in the environment and also assess impact on public health and public occupation site territory. We can see from the table that the output of OpenMC code was 20 nuclides with their activities in becquerel. So this nuclides are from different groups such as noble gases, halogens, alkali metals and scandium group. Activity measures radioactive emission from a source.

For this study we used HotSpot Health Physics code, which showed us trajectory of dispersion of radioactive material. For input we needed some meteorological data, data from the table which was provided by OpenMC code, location data, general data about the accident. For meteorological data we input the average wind speed in Tashkent region and also by using wind rose we determined the main wind direction in September (the assumed time of an accident).

Meteorological data

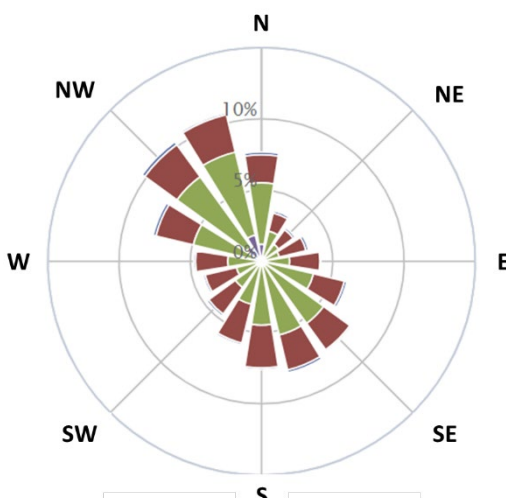


Figure 1: Wind rose in Ulugbek

Meteorological data and dominant wind rose direction used for this study is obtained from the closest to the SMR site meteorological station located in town Ulugbek (Figure 1). Town Ulugbek is an urban-type settlement located in Tashkent Region lying on latitude of 41.405833 north and longitude of 69.458333 east. Average wind speed in Ulugbek in September (assumed accident scenario time) was 1.86 m/s and the wind direction were mostly northwestern.

HotSpot gave us 3 types of data:

1) TEDE (Total effective Dose equivalent) It represents the sum of the effective doses received from external radiation exposure and the committed effective doses resulting from internal exposures to radioactive materials.

2) Ground deposition. Ground deposition refers to the settling or depositing of radioactive materials onto the ground or surfaces in the environment following a release of radioactive substances.

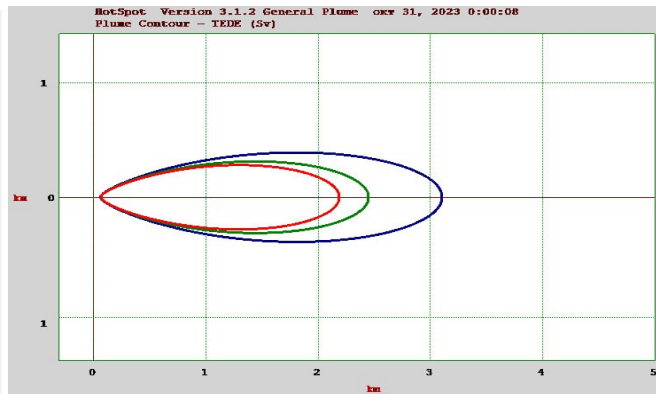
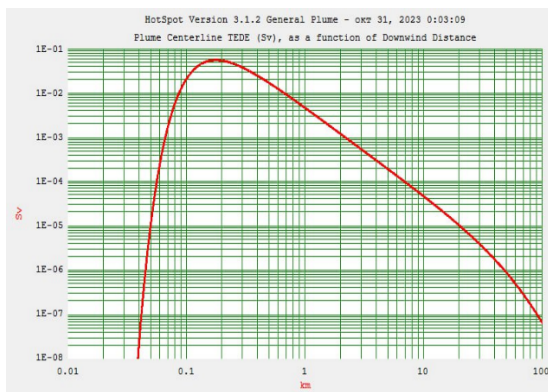
When radioactive materials are released into the atmosphere, they can be transported by air currents and then deposited onto the ground, vegetation, buildings, and other surfaces. The extent and distribution of ground deposition depend on various factors such as the type of radioactive isotopes released, the release conditions, and meteorological factors like wind patterns and precipitation

3) CEDE. The Committed Effective Dose Equivalent is a term used in radiation protection to quantify the radiation dose that an individual might receive over an extended period due to the intake of radioactive materials into the body.

HotSpot output



Figure 2: Visual representation of TEDE using Google Earth Pro



**HotSpot Version 3.1.2
 General Plume**

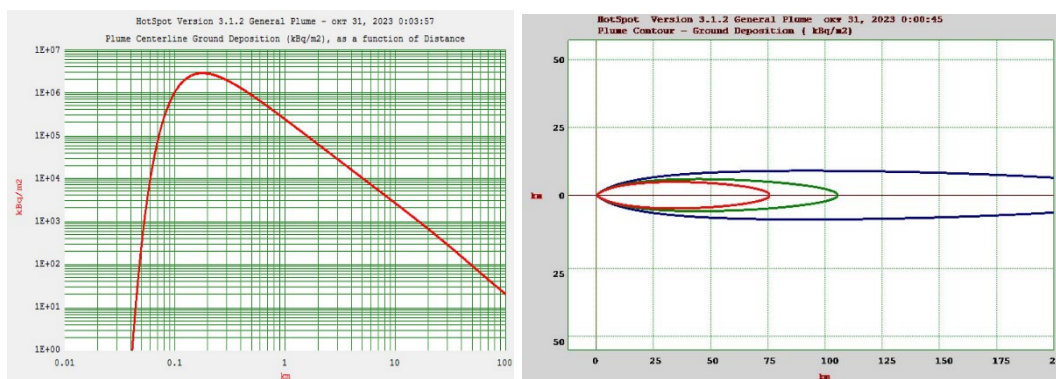
Contour Levels	
	1,00E-03 Sv
	8,00E-04 Sv
	5,00E-04 Sv

a)

b)

Figure 3: a) TEDE (Sv) as a function of downwind distance from the release point; b) TEDE contour plot.

It can be seen from Figure 3(a) that the TEDE initially increases with increasing distance downwind, reaches the maximum value, and then decreases sharply. From the Hotspot data and Figure 3 it can be realized that the maximum TEDE is $5.5E-2$ Sv and this occurs at the downwind distance of 0.2 km. This maximum TEDE value is recorded within the restricted area, which equals to 0.89 km^2 from the release point. At distances of 2.4 km (which embraces part of the town Ulugbek and the local channel Bozsu) and beyond from the release point the TEDE values are far below the annual regulatory limits of 1 mSv from public exposure in a year even in the event of worst-case scenario as set in IAEA Safety Standard No. GSR Part 3.



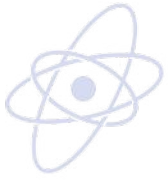
**HotSpot Version 3.1.2
 General Plume**

Contour Levels	
	3,70E+01 kBq/m2
	1,85E+01 kBq/m2
	3,70E+00 kBq/m2

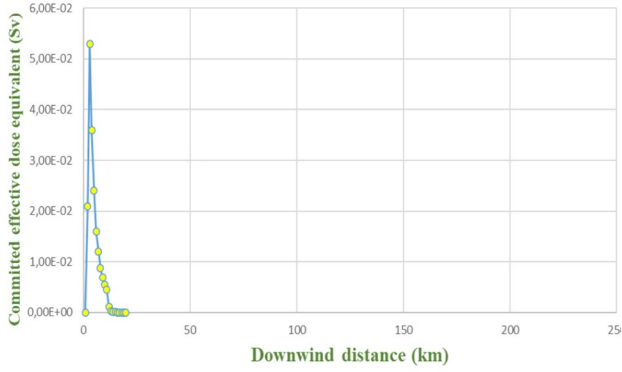
Figure 4: Ground deposition as a function of downwind distance from the release point and Ground deposition contour plot.

Ground Deposition graph also reaches its maximum and falls as the downwind distance increases. But areas in the plot and Google Earth visualizations are different. There are 3 areas : red(inner), green(middle), blue(outer). The outer area with the maximum value of 3.7 kBq/m2 reaches town Jizakh. So as we can see it is quite far away.

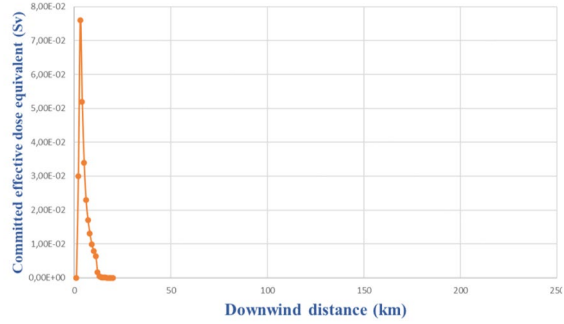
Committed effective dose equivalent



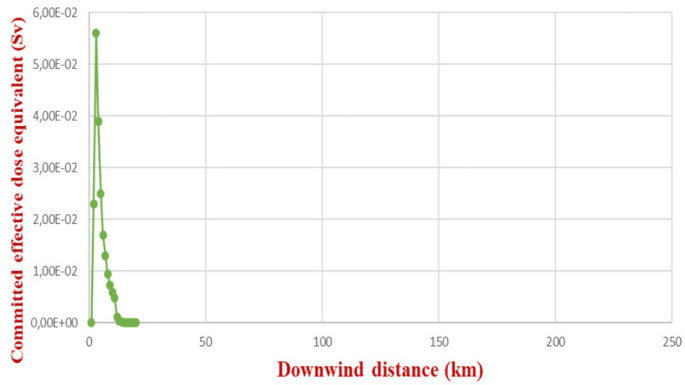
Muscle



SKIN



Thyroid



Surface Bone

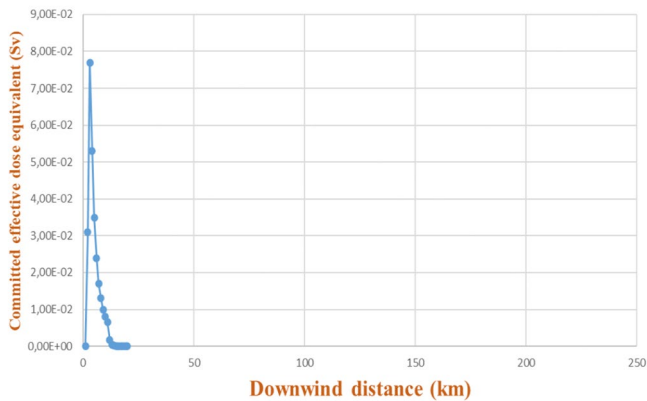


Figure 5: Visualizations of CEDE of different organs from the HotSpot data

According to the analysis of the data, after investigation of the contribution of 20 radionuclides, it can be concluded that five radionuclides, I-131, I-133, Cs-134, Ba-140, Xe-133, are the main contributors to the CEDE.

This radionuclides contribute mostly to the thyroid, lungs, muscles, skin, surface bone, testes.

References

1. IAEA-ARIS, Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, 2022 edition.
2. S. G. Homann and F. Aluzzi, HotSpot Health Physics Code, Version 3.0, User's Guide, National Atmospheric Release Advisory Center USA, 2013.
3. Ji Hyun Kim, [System-integrated modular advanced reactor \(SMART\)](#), KAERI-Korea, 2006.
4. <https://docs.openmc.org/en/stable/usersguide/index.html>

J.J. Carbajo, Severe accident source term characteristics NUREG/CR-5942, U.S. NRC, 1993



merphi_life



ТФ НИЯУ МИФИ



merphi_uz



merphi.uz