

ҚАРАҒАНДЫ
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ
ВЕСТНИК
КАРАГАНДИНСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ISSN 0142-0843

ФИЗИКА сериясы
№ 1(57)/2010
Серия **ФИЗИКА**

Қаңтар–ақпан–наурыз
1996 жылдан бастап шығады
Жылына 4 рет шығады

Январь–февраль–март
Издается с 1996 года
Выходит 4 раза в год

Собственник РГКП **Карагандинский государственный университет
имени Е.А.Букетова**

Бас редакторы — Главный редактор

Е.К.КУБЕЕВ,

академик МАН ВШ, д-р юрид. наук, профессор

Зам. главного редактора М.Ж.Буркеев, д-р хим. наук
Ответственный секретарь Г.Ю.Аманбаева, д-р филол. наук

Серияның редакция алқасы — Редакционная коллегия серии

Т.А.Кукетаев,	редактор д-р физ.-мат. наук;
К.М.Арынгазин,	д-р пед. наук;
И.В.Брейдо,	д-р техн. наук;
Н.Х.Ибраев,	д-р физ.-мат. наук;
Л.М.Ким,	д-р физ.-мат. наук
К.К.Кусайынов,	д-р техн. наук;
С.Д.Джуманов,	д-р физ.-мат. наук (Узбекистан);
М.М.Кидибаев,	д-р физ.-мат. наук (Кыргызстан);
З.Ж.Жанабаев,	д-р физ.-мат. наук;
Г.В.Климушева,	д-р физ.-мат. наук (Украина);
С.А.Кумеков,	д-р физ.-мат. наук;
В.М.Лисицын,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
И.А.Огородников,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
Г.И.Пилипенко,	д-р физ.-мат. наук (Россия);
С.В.Плотников,	д-р физ.-мат. наук;
Л.А.Пунг,	д-р физ.-мат. наук (Эстония);
М.П.Тонконогов,	д-р техн. наук;
А.Ж.Турмухамбетов,	д-р физ.-мат. наук;
К.Ш.Шункеев,	д-р физ.-мат. наук;
Л.В.Чиркова,	ответственный секретарь канд. техн. наук

Редакторы *Ж.Т.Нұрмұханова*
Редактор *И.Д.Рожнова*
Техн. редактор *В.В.Бутайкин*

Издательство Карагандинского
государственного университета
им. Е.А.Букетова
100012, г. Караганда,
ул. Гоголя, 38,
тел., факс: (7212) 51-38-20
e-mail: izd_kargu@mail.ru

Басуға 29.03.2010 ж. қол қойылды.
Пішімі 60×84 1/8.
Офсеттік қағазы.
Көлемі 9,0 б.т.
Таралымы 300 дана.
Бағасы келісім бойынша.
Тапсырыс № 358.

Подписано в печать 29.03.2010 г.
Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная.
Объем 9,0 п.л. Тираж 300 экз.
Цена договорная. Заказ № 358.

Отпечатано в типографии
издательства КарГУ
им. Е.А.Букетова

Адрес редакции: 100028, г. Караганда, ул. Университетская, 28
Тел.: (7212) 77-03-69 (внутр. 1026); факс: (7212) 77-03-84.

© Карагандинский государственный университет, 2010

Зарегистрирован Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан.
Регистрационное свидетельство № 1131–Ж от 10.03.2000 г.

МАЗМҰНЫ

КОНДЕНСАЦИЯЛАНҒАН КҮЙДЕГІ ЗАТТАРДЫҢ ФИЗИКАСЫ

<i>Афанасьев Д.А., Ыбыраев Н.Х.</i> Мультикабатты ЛБ-қабыршақтарында 1,2-бензантраценнің АБФ-на температура мен магниттік өрістің әсері.....	3
<i>Жарекешев И.Х.</i> Спектралдық корреляцияларға арналған бөлу алгоритмі.....	10
<i>Сәлкеева А.К., Ким Л.М., Тулегулов А.Д., Тұрмұхамбетова Е.Т.</i> Құрылымдық су молекулаларының сілтілі металдар сульфаттарына әсерінің ерекшеліктері.....	16

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ

<i>Нүсіпбеков Б.Р.</i> Электрогидроимпульстік әдіспен құбырдың ішін сапалы түрде тазалау	23
<i>Саденова К.К.</i> Табиғи минералдардың микроқұрылымдық сипаттамаларына талдау жүргізу	29
<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А., Дүйсенбаева М.С.</i> Жылуалмасу аппараттар бетіндегі қақтар құрылымының ерекшеліктері.....	34

ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА

<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Нүсіпбеков Б.Р., Хасенов А.К.</i> Магнус эффектісіне негізделген желкозғалтқыштың зертханалық моделін құру	40
<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Омаров Н.Н.</i> Көлденең кималы айналмалы элементті желкозғалтқыштарының қарқындылығын талдау	46
<i>Нүсіпбеков Б.Р., Исембергенов Н.Т.</i> Электр энергиясын өндіруге арналған аз айналымды генераторларды жасау.....	52

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

<i>Ермаганбетов Қ.Т., Чиркова Л.В.</i> Техника физикасы бакалаврларының дайындауда шығармашылық дағдыларын қалыптастыру.....	60
<i>Маханов Қ.М.</i> Эксперименттік берілгендерге өңдеу және талдау жүргізу үшін LabVIEW графикалық программалау ортасын қолдану.....	66
АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР	72

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

<i>Афанасьев Д.А., Ибраев Н.Х.</i> Влияние температуры и магнитного поля на АЗФ 1,2-бензантрацена в мультислойных ЛБ-пленках	3
<i>Жарекешев И.Х.</i> Алгоритм деления для спектральных корреляций	10
<i>Салькеева А.К., Ким Л.М., Тулегулов А.Д., Турмұхамбетова Е.Т.</i> Особенности влияния молекул структурной воды в сульфатах щелочных металлов	16

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

<i>Нусупбеков Б.Р.</i> Качественная оценка эффективности влияния электрогидроимпульсного способа очистки поверхности	23
<i>Саденова К.К.</i> Анализ микроструктурных характеристик природных минералов.....	29
<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А., Дүйсенбаева М.С.</i> Особенности структуры накипных отложений на поверхностях теплообменных аппаратов.....	34

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Нусупбеков Б.Р., Хасенов А.К.</i> Создание действующей лабораторной модели ветродвигателя на основе эффекта Магнуса	40
<i>Құсайынов Қ., Сақыпова С.Е., Омаров Н.Н.</i> Анализ эффективности ветродвигателей с цилиндрическими элементами переменного сечения	46
<i>Нусупбеков Б.Р., Исембергенов Н.Т.</i> Создание малооборотистого безредукторного ветроэнергетического источника электропитания	52

МЕТОДИКА ФИЗИКИ

<i>Ермаганбетов Қ.Т., Чиркова Л.В.</i> Элементы креативного образования при подготовке бакалавров технической физики	60
<i>Маханов Қ.М.</i> Использование графической программной среды LabVIEW при анализе и обработке экспериментальных данных.....	66
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	72

КОНДЕНСАЦИЯ ЛАНҒАН КҮЙДЕГІ ЗАТТАРДЫҢ ФИЗИКАСЫ ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 535.37

Д.А.Афанасьев, Н.Х.Ибраев

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

Влияние температуры и магнитного поля на АЗФ 1,2-бензантрацена в мультислойных ЛБ-пленках

В работе приведены результаты измерения влияния температуры и магнитного поля на аннигиляционную замедленную флуоресценцию молекул 1,2-бензантрацена. В качестве объектов исследования использовались пленки Ленгмюра-Блоджетт из смеси стеариновой кислоты и люминофора с концентрацией молекул люминофора 75 моль %. Были получены пленки с количеством слоев 10, 2 и 1. Изучение влияния температуры на интенсивность АЗФ показало зависимость величины неоднородного уширения триплетных уровней энергии 1,2-БА от количества слоев в образце. Отмечено, что с уменьшением количества монослоев наблюдается увеличение магнитного эффекта в пленках. Определено: наблюдается взаимосвязь между процессами уширения энергетических уровней и магнитным эффектом в данных пленках.

Ключевые слова: температура, влияние, магнитное поле, замедленная флуоресценция, пленки Ленгмюра-Блоджетт, интенсивность.

Возможность использования отдельных молекул и молекулярных ансамблей в качестве активных элементов электроники давно привлекает внимание исследователей различных областей науки [1]. Определение границ потенциальных возможностей и приближение к этим границам современных полупроводниковых технологий вызывает повышенный интерес к построению базовых элементов молекулярной электроники. Дальнейшие перспективы развития электроники связываются с созданием устройств, использующих квантовые явления, в которых счет идет на единицы фотонов и электронов. В последнее время широко ведутся теоретические и экспериментальные исследования искусственно создаваемых низкоразмерных структур [2]. Параллельно ведется активный поиск материалов и механизмов для спинтроники — области науки, рассматривающей возможности управления процессами переноса информации при помощи магнитного поля [3]. Одним из возможных путей создания базовых элементов «новой электроники» может стать модуляция магнитным полем аннигиляционной замедленной флуоресценции (АЗФ) в органических молекулярных средах. В связи с изложенным выше вызывает интерес исследование влияния внешних температурных и магнитных полей на миграцию триплетного возбуждения в тонкопленочных молекулярных системах при уменьшении размеров слоя.

В качестве объектов исследования использовались тонкие пленки, полученные по технологии Ленгмюра–Блоджетт (ЛБ), состоящие из смеси стеариновой кислоты и 1,2-бензантрацена (1,2-БА) [4]. Пленки изготавливались методом вертикального лифта на твердых подложках из нелюминесцирующего кварца. Концентрация молекул 1,2-БА в образцах выдерживалась одинаковой и имела величину 75 моль %. Были получены пленки с количеством слоев 10, 2 и 1.

Измерения производились на установке по изучению влияния магнитного поля на кинетику длительной люминесценции с регистрацией в режиме счета фотонов [5]. В качестве источника возбуждения использовался азотный лазер ИЛГИ-503 с энергией в импульсе 1 мкДж на длине волны 337 нм. Регистрация производилась через 2 мкс после возбуждения объекта исследования. Для накопления кинетических данных временной диапазон измерения разбивается на интервалы длительностью

10 мкс. На каждом временном интервале происходит накопление сигнала в виде числа электронных импульсов, пришедших с фотоэлектронного умножителя.

Для проведения измерений АЗФ при разных температурах использовался вакуумируемый оптический криостат. Контроль температуры производился при помощи медь-константановой термопары, сигнал с которой постоянно оцифровывался и передавался в персональный компьютер. В случае, если температура исследуемого образца отклоняется от заданной величины более чем на 2 °С, программа приостанавливает проведение измерений и сигнализирует об этом. После достижения заданной температуры в криостате (дополнительный нагрев или охлаждение) накопление данных продолжается.

Для определения влияния магнитного поля (МП) производилась регистрация кинетики затухания свечения АЗФ в отсутствие магнитного поля и в поле. Первоначально измерения осуществлялись без поля не менее 5 раз (5–10). После этого включался электромагнит и производилась запись кинетики АЗФ не менее 5 раз для одного значения индукции поля. После каждого измерения электромагнит выключался. Далее процедура повторялась для другого значения магнитной индукции. Полученные данные усреднялись, и производилось вычисление магнитного эффекта (МЭ). Величина его оценивалась по относительному изменению интенсивности замедленной флуоресценции в МП и в отсутствие поля по формуле

$$g(B) = \frac{I_{\text{п}} - I_0}{I_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $I_{\text{п}}$ и I_0 — интенсивности замедленной флуоресценции в поле и без поля соответственно.

Хотя ЛБ-технология позволяет выстраивать и ориентировать молекулы в монослоях заданным образом, пленки, полученные этим способом, обладают локальной неоднородностью структуры. Одним из явлений, наблюдаемых для таких структур, является неоднородное уширение (НУ) электронных спектров [6, 7]. НУ связано с дисперсией энергетических уровней возбужденных состояний, обусловленной пространственной неоднородностью окружения центров свечения.

Для изучения влияния НУ на дезактивацию триплетных возбуждений производились температурные измерения кинетики затухания АЗФ. Измерение временной зависимости свечения АЗФ пленок производилось в мономерной полосе 1,2-БА ($\lambda = 420$ нм) через 2 мкс после лазерного возбуждения. Результаты этих измерений для пленок с различным значением слоев показаны на рисунках 1–3.

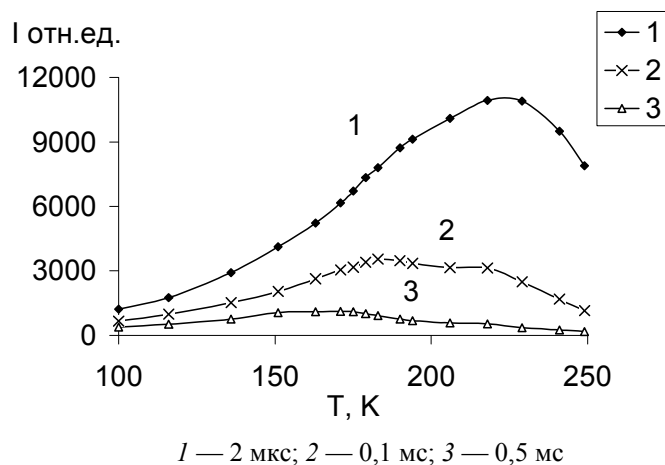


Рисунок 1. Зависимость интенсивности АЗФ 1-слойной ЛБ-пленки 1,2-БА от температуры на разных временах регистрации

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рисунках 1–3, показывает, что для всех кривых наблюдается первоначальный рост выхода свечения АЗФ, который достигает максимума при некоторой температуре, а в дальнейшем происходит падение интенсивности свечения. При увеличении интервала времени между лазерным возбуждением и регистрацией сигнала происходит сдвиг максимума интенсивности АЗФ в область низких температур. Наиболее четко выражен сдвиг для 1-слойной пленки, который составляет порядка 70 К. С увеличением количества слоев в образце происходит уменьшение температурного сдвига и для 10-слойной пленки сдвиг незначителен.

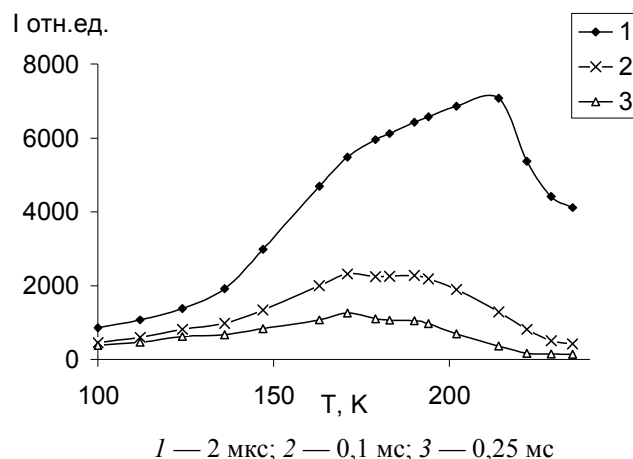


Рисунок 2. Зависимость интенсивности АЗФ 2-слойной ЛБ-пленки 1,2-БА от температуры на разных временах регистрации

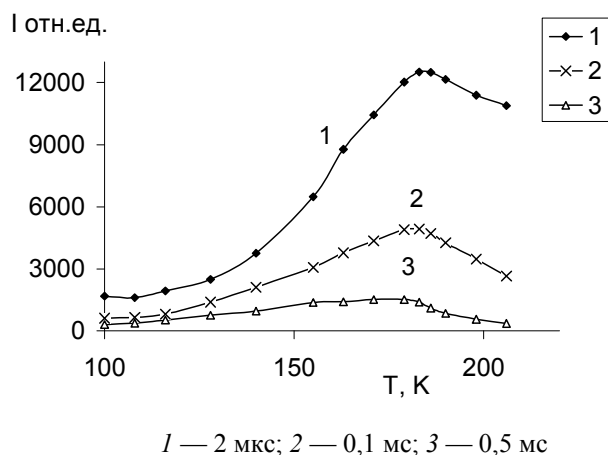


Рисунок 3. Зависимость интенсивности АЗФ 10-слойной ЛБ-пленки 1,2-БА от температуры на разных временах регистрации

На начальной стадии процесса наблюдается сдвиг максимума интенсивности АЗФ при уменьшении количества слоев молекул в образце (рис. 4). Максимум свечения 10-слойной ЛБ-пленки достигается при $T = 180$ К, а для 2-слойной и 1-слойной пленок — при $T = 215$ К и $T = 230$ К соответственно. Для объяснения полученных результатов следует предположить, что в ЛБ-пленках 1,2-БА имеет место дисперсия триплетных уровней. При низких температурах мигрирующий экситон захватывается ловушками, которые имеют более глубокий энергетический уровень T_1 . Нагрев пленки приводит к выходу экситонов из ловушек и способствует росту эффективности их миграции по уровням одинаковой энергии. Увеличение эффективности миграции будет приводить к росту актов аннигиляции триплетов. Падение интенсивности АЗФ после некоторого максимального значения связано с усилением внутримолекулярного температурного тушения возбужденных молекул.

Сдвиг максимума интенсивности АЗФ от температуры для пленок с разным количеством молекулярных слоев свидетельствует об изменении глубины залегания ловушек в образцах. При уменьшении количества слоев в пленке происходит увеличение разброса триплетных уровней энергии, обусловленное внешним окружением молекулы.

Впервые о влиянии магнитного поля на АЗФ молекулярных кристаллов антрацена было сообщено Меррифилдом и др. [8]. Данный эффект авторами объяснялся модуляцией внешним магнитным полем константы скорости триплет-триплетной аннигиляции. В теории Суны [9] полностью описываются магнитные эффекты в кристаллических структурах. Однако существует ряд молекулярных структур, в которых эффект магнитного поля имеет ряд качественных отличий от эффектов, наблюдаемых в кристаллах и растворах. Одним из таких структур являются ЛБ-пленки.

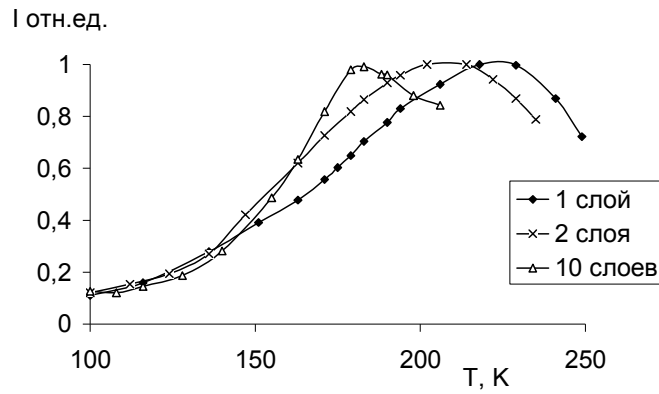


Рисунок 4. Зависимость интенсивности АЗФ слойных ЛБ-пленок 1,2-БА от температуры. Время регистрации 10 мкс

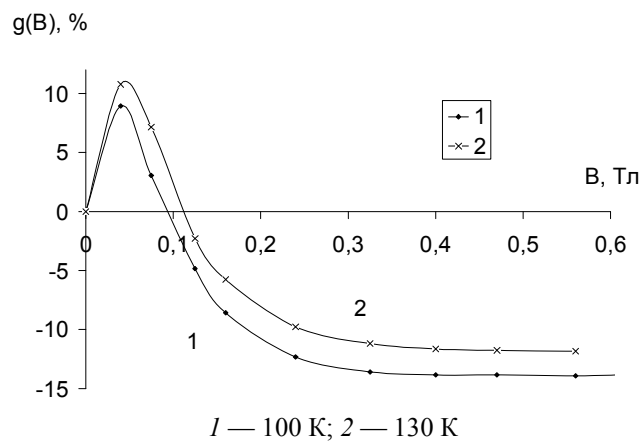
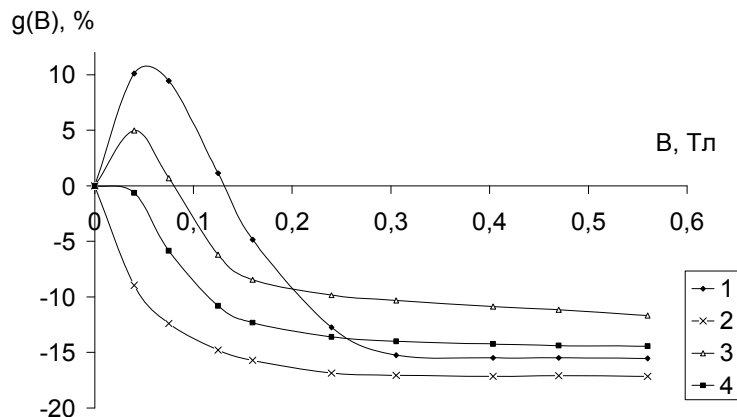


Рисунок 5. Влияние магнитного поля на АЗФ 10-слойной ЛБ-пленки 1,2-БА при разных температурах



1 — мгновенная интенсивность (2 мкс, $T = 190$ К); 2 — мгновенная интенсивность (0,5 мс, $T = 190$ К);
3 — мгновенная интенсивность (2 мкс, $T = 220$ К); 4 — мгновенная интенсивность (0,1 мс, $T = 220$ К)

Рисунок 6. Влияние магнитного поля на АЗФ 10-слойной ЛБ-пленки 1,2-БА при разных температурах

В ходе экспериментов исследовалось влияние поля на кинетику АЗФ ЛБ-пленок 1,2-БА при разных температурах. Магнитное поле было направлено по касательной к поверхности подложки вдоль ее короткой стороны. В зависимости от температуры имеются существенные различия в наблюдаемом магнитном эффекте. В диапазоне температур от 100 до 180 К, вне зависимости от времени регистрации, ход кривой остается постоянным (рис. 5, 7). Данный вид зависимости наблюдается вплоть

до температур порядка 180 К. Например, для 10-слойной пленки при температуре подложки $T = 100$ К, как видно из рисунка 5, с увеличением магнитной индукции от 0 Тл до 0,05 Тл интенсивность замедленной флуоресценции на начальном этапе затухания возрастает на 9 %. Дальнейшее увеличение магнитной индукции сопровождается падением интенсивности свечения. При индукции магнитного поля $B > 0,35$ Тл достигается насыщение и АЗФ падает до значений порядка 85 % от первоначальной (в отсутствии магнитного поля) интенсивности. Для других температур данного диапазона наблюдается аналогичная зависимость. Отличия магнитного эффекта для температуры 130 К носят количественный характер и входят в диапазон погрешности измерения, который составляет порядка 2 % от измеренной величины.

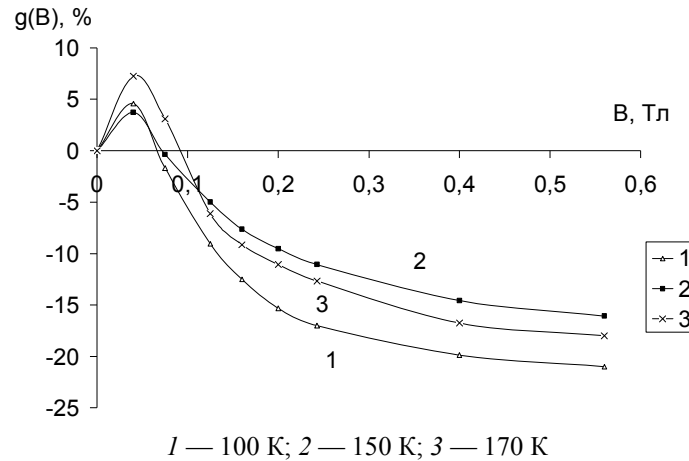
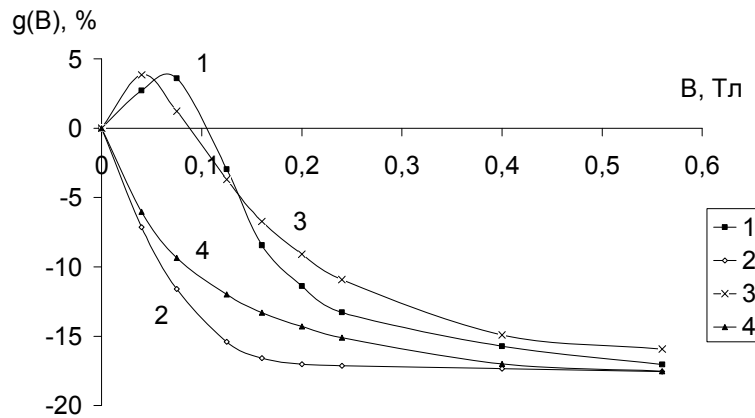


Рисунок 7. Влияние магнитного поля на АЗФ 1-слойной ЛБ-пленки 1,2-БА при разных температурах



1 — мгновенная интенсивность (2 мкс, $T = 190$ К); 2 — мгновенная интенсивность (1 мс, $T = 190$ К); 3 — мгновенная интенсивность (2 мкс, $T = 220$ К); 4 — мгновенная интенсивность (0,5 мс, $T = 220$ К)

Рисунок 8. Влияние магнитного поля на АЗФ 1-слойной ЛБ-пленки 1,2-БА при разных температурах

При температуре 180 К качественно изменяется вид магнитного эффекта (рис. 6, 8). На начальном этапе времени регистрации ход зависимости аналогичен зависимостям, приведенным на рисунках 5, 7. С увеличением времени регистрации происходит изменение зависимости магнитного эффекта. Например, при температуре 190 К для времени регистрации 0,5 мс (рис. 6) наблюдается плавное уменьшение интенсивности АЗФ при изменении индукции поля от 0 до 0,6 Тл. При варьировании времени регистрации в интервале от 2 мкс до 0,5 мс наблюдаемая кривая занимает промежуточное положение между кривыми 1 и 2 рисунка 6. При времени регистрации выше 0,5 мс зависимость будет идентична кривой 2 (рис. 6). Данный характер магнитной зависимости сохраняется и при повышении

температуры (рис. 6, кривые 3 и 4). На рисунке указаны два предельных положения во времени: кривая 1 — регистрация через 2 мкс после окончания лазерного возбуждения. Кривая 2 — регистрация через 0,5 мс.

Для 1-слойной пленки зависимости интенсивности АЗФ от величины индукции магнитного поля показаны на рисунках 7 и 8. Полученные данные качественно совпадают с данными для 10-слойной пленки. Однако с уменьшением количества слоев в пленке происходит увеличение магнитного эффекта. Так, для 10-слойной пленки величина эффекта при температуре 100 К составляет 14 %, а для 1-слойной при такой же температуре — достигает значения 23 %.

Следует предположить, что в мультислойной пленке наблюдается межслойная миграция экситонов. В случае однослойной ЛБ-пленки миграция характерна для двумерной системы, где вероятность перестолкновения между ранее непроаннигилированными триплетами возрастает по сравнению с мультислойной пленкой. Данные результаты по величине магнитного эффекта хорошо согласуются с аналитическими расчетами, приведенными в [10]. Однако характер временной зависимости магнитного эффекта, наблюдаемого для пленок при температурах выше 180 К, не является классическим.

Анализ экспериментальных результатов показал взаимосвязь между процессами уширения энергетических уровней и магнитными эффектами в данных образцах. Величина интенсивности АЗФ, обусловленная неоднородным уширением, достигает максимума при температурах порядка 180 К. Качественное изменение зависимости магнитного эффекта происходит при этой же температуре. Для более полного объяснения полученных результатов необходимы дальнейшие исследования.

Список литературы

- 1 Плотников Г.С., Зайцев В.Б. Физические основы молекулярной электроники. — М.: МГУ, 2000. — 164 с.
- 2 Суздальев И.П. Нанотехнология: физикохимия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. — М.: КомКнига, 2006. — 592 с.
- 3 Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Уткина Е.А. Основы наноэлектроники. — Ч. 3. — Минск: БГУИР, 2004. — 91 с.
- 4 Блинов Л.М. Ленгмюровские пленки // Успехи физических наук. — 1988. — Т. 155. — № 3. — С. 443–480.
- 5 Афанасьев Д.А., Гимазетдинов Р.Ж. Система регистрации кинетики затухания длительной люминесценции // Вестн. КарГУ. — Сер. Физика. — 2008. — № 2(50). — С. 71–75.
- 6 Ibrayev N.Kh., Latonin V.A. Decay kinetics of the delayed annihilation fluorescence of aromatic molecules in Langmuir-Blodgett films // Phys. Solid State. — 1999. — Vol. 41/4. — P. 664–667.
- 7 Ibraev N.Kh., Latonin V.A. Dynamics of triplet excitation in Langmuir-Blodgett films of aromatic molecules // Journal Of Luminescence. — 2000. — Vol. 87–89. — P. 760–763.
- 8 Merrifield R.E. et al. Theory of Magnetic Fields Effects on the Mutual Annihilation of Triplet Excitons // J. Chem. Phys. — 1968. — Vol. 48. — № 9. — P. 4318–4319.
- 9 Suna A. Kinematics of Exciton-Exciton Annihilation in Molecular Crystals // Phys. Rev. B. — 1970. — Vol. 1. — № 4. — P. 1716–1739.
- 10 Поун М., Свенберг Ч. Электронные процессы в органических кристаллах. — Т. 1. — М.: Мир, 1985. — 543 с.

Д.А.Афанасьев, Н.Х.Ыбыраев

Мультиқабатты ЛБ-қабыршақтарында 1,2-бензантраценнің АБФ-на температура мен магниттік өрістің әсері

Мақалада 1,2-бензантрацен молекуласының аннигиляциялық баяу флуоресценцияға (АБФ) температуралық және магниттік өрістің әсерін зерттеу нәтижелері ұсынылды. Зерттелетін зат ретінде стеарин қышқыл және люминофор молекуласының концентрациясы 75 моль % болатын люминофор қоспадан тұратын Ленгмюр-Блоджетт қабыршағы қолданылды. Қабат саны 10, 2 және 1 болатын қабыршақтар алынды. Аннигиляциялық баяу флуоресценцияның интенсивтілігі температуралық тәуелділігін зерттеу 1,2-бензантрацен триплеттік деңгейлерінің біртекті кеңеюінің зат қабат санынан тәуелділігін көрсетті. Моноқабат саны азайған сайын қабыршақтағы магниттік эффектің үлкеюі, сондай-ақ берілген заттың энергетикалық деңгейлердің кеңеюі мен осы заттағы магниттік эффекті үрдістерінің арасындағы байланыс байқалды.

D.A.Afanasyev, N.Kh.Ibrayev

**Influence temperature and magnetic field on annihilation delay
fluorescence 1,2-benzanthracene in multilayer LB films**

In this work results of research of influence temperature and a magnetic field on annihilation delay fluorescence (ADF) of molecules 1,2-benzanthracene (1,2-BA) are resulted. As objects films of Lengmur-Blodzgett from a mix of stearin acid and luminophor with concentration of molecules luminophor 75 моль % were used. Films with quantity of layers 10, 2 and 1 have been received. Studying of temperature dependence of intensity ADF have shown dependence of size non-uniform widening triplet energy levels 1,2-BA from quantity of layers in the sample. With reduction of quantity of monolayers the increase in magnetic effect in films is observed. The interrelation between processes widening power levels and magnetic effect in the given films is observed.

И.Х.Жарекешев

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы

Алгоритм деления для спектральных корреляций

Разработан усовершенствованный численный метод для анализа электронного спектра. Рассмотрена статистика из уровней энергии в неупорядоченном твердом теле. Применен алгоритм деления спектра для двумерной модели сильной связи с диагональным беспорядком. Квантовые уровни энергии вычислены для больших нанокластеров, таких как графены, содержащих до одного миллиона атомов. Доказано: результаты показывают переход статистики спектра от вигнеровской к пуассоновской, когда размер нанокластера растет.

Ключевые слова: численный метод, электронный спектр, анализ, статистика, твердое тело, алгоритм, двумерная модель, диагональный беспорядок, нанокластер.

Введение

Вычисление дискретного электронного спектра полупроводниковых наноструктур в последнее время привлекает большое внимание в физике конденсированного состояния. В первую очередь это связано с тем, что вследствие квантово-размерных эффектов на масштабах долей микрона расстояние между электронными уровнями становятся меньше, чем температура (kT) и меньше, чем неупругая энергия рассеяния межэлектронного взаимодействия ($1/\tau_{in}$). Как раз такая ситуация реализуется в экспериментальных образцах наноразмера, порядка 2–10 Å, уже при комнатной температуре. Поэтому теоретическое исследование дискретных уровней энергии электронов, их положение по отношению друг к другу, а также общее распределение уровней энергии всей квантовой системы (статистика спектра) являются важной и актуальной задачей современной полупроводниковой наноэлектроники. Перспективными подходами к пониманию этой проблемы служат не только общие аналитические методы (построение формализма на основе приближенных теоретических моделей), но и прямые численные методы, основанные на точном вычислении физических наблюдаемых (такие как ренорм-групповые методы и точная диагонализация). Одним из этих методов является алгоритм деления, впервые примененный в ядерной физике для нахождения времен и сечений рассеяния на тяжелых сложных ядрах. В настоящей работе алгоритм деления впервые используется для спектральных корреляций в полупроводниковых нанокластерах.

В большинстве случаев компьютерный расчет полного электронного энергетического спектра и соответствующих волновых функций квантовых образцов сильно затруднен ввиду определенных ограниченных возможностей компьютеров (предел оперативной памяти и максимальное быстродействие процессоров). Зачастую размеры систем, которые поддаются надежному расчету, не превосходят нескольких десятков атомов в нанокластерах. Дальнейшую трудность представляют так называемые гамильтонианы с беспорядком, описывающие реальные физические образцы с различного рода примесными атомами. Точная диагонализация таких гамильтонианов еще больше снижает предельный масштаб образцов конечных размеров, которые поддаются точному численному описанию.

С другой стороны, определение физических свойств макроскопически больших квантовых систем требует знания спектральных характеристик в термодинамическом пределе только в очень узкой области энергии. Эта область энергии достаточна для формирования большинства транспортных величин (таких как проводимость, теплопроводность, магнитная восприимчивость, оптические величины). Ширина этой области энергии δ определяется температурой или обратным временем рассеяния, или энергией Таулесса, или каким-либо другим типичным масштабом энергии, характерным для данного типа задачи. Как правило, она намного меньше, чем ширина спектра всей системы. Только незначительная часть дискретных уровней энергий вокруг уровня Ферми сконцентрирована в этой области. Поэтому нет необходимости вычислять полный набор дискретных значений энергий электрона и соответствующих волновых функций. Это, в свою очередь, означает, что проводить полную диагонализацию всей системы излишне. Другими словами, поиск собственных значений и собственных функций матричного гамильтониана может быть сконцентрирован только в области δ . За счет ограничения области вычисляемых энергий можно выиграть в пользу больших размеров исследуемых систем, и тем самым направить компьютерные мощности в сторону увеличения линейных масшта-

бов, с тем, чтобы максимально приблизиться к реальной экспериментальной ситуации, когда число атомов в нанокластере насчитывает от 10^3 до 10^6 .

Спектральные корреляции

Одним из мощных методов, в котором успешно используется упомянутая выше идея, является широкоизвестный метод Ланцоша [1; 2]. Его преимущество перед другими методами заключается в том, что он позволяет вычислять не только единичные (отдельно стоящие) уровни энергии, но и собственные состояния, как в интерьере, так и на удаленных границах спектра. Другой метод, который берет свое начало от известного формализма ренормировочно-группового анализа, разработанного для проблемы Кондо, называется методом Вильсона [3]. Его модифицированная версия применялась к неупорядоченным гамильтонианам, чтобы определить кондактанс G двумерной модели Андерсона [4]. Основная цель настоящей статьи — продемонстрировать, что подобный алгоритм также может быть успешно имплементирован для вычисления взаимных корреляций уровней энергии в электронных спектрах хаотических систем.

Общепринято, что спектральные корреляции описываются вероятностным распределением $P(s)$ расстояний между ближайшими уровнями s [5]. Мы представляем здесь точные результаты $P(s)$ для двумерной модели Андерсона, общие размеры которой достигают 1024×1024 узлов решетки. В качестве проверки мы вычислили функцию скейлинга $\beta(G)$ кондактанса, который определяется как смещение уровней энергии при изменении граничных условий. Точное определение кондактанса было введено в мезоскопическую физику Таулессом. Ему удалось найти выражение для статического кондактанса квантовой системы конечных размеров через некоторый масштаб энергии, который является мерой чувствительности дискретных уровней энергии электрона по отношению к изменению условий на границах образца. Этот масштаб энергии может служить мерой для определения ширины интервала энергий δ в спектре.

Если размеры системы намного меньше, чем длина локализации, то ожидается, что распределение расстояний между ближайшими уровнями $P(s)$ дается формулой Вигнера [6]

$$P_w(s) = \frac{\pi s}{2} \exp(-\pi s^2 / 4), \quad (1)$$

благодаря тому, что существует квантово-механическое отталкивание между уровнями энергии. Расстояния между уровнями s измеряется в единицах среднего расстояния Δ . Если размер системы L увеличивается или степень беспорядка хаотического потенциала W усиливается, то общеизвестно, что испытывает фазовый переход к локализации, а распределение $P(s)$ должно испытывать переход от распределения Вигнера $P_w(s)$ к распределению Пуассона $P_p(s) = \exp(-s)$, как только длина локализации ζ становится меньше размера системы L . В этом пределе уровни энергии являются полностью нескоррелированными, так как перекрытие между хвостами волновых функций локализованных состояний электрона становится экспоненциально малым. Используя численное моделирование по методу деления, мы показываем, что при увеличении размера L функция распределения $P(s)$ межуровневых расстояний действительно изменяется от функции Вигнера к функции Пуассона, причем это изменение в двумерной системе происходит непрерывно, в отличие от перехода $P(s)$ в трехмерной системе, где наблюдается разрывный скачок. Наши результаты полностью согласуются с предположением [5], что в двумерных образцах с неупорядоченным примесным потенциалом все электронные состояния являются локализованными.

Алгоритм деления

Модель Андерсона с диагональным беспорядком представлена в виде гамильтониана

$$H = \sum_i \varepsilon_i |i\rangle\langle i| + I \sum_{i,j \neq i} |i\rangle\langle j|, \quad (2)$$

где $|i\rangle$ обозначает состояния электрона на узле i .

Первый член в сумме соответствует потенциальной энергии, второй — кинетической. Удельные энергии ε распределены случайным образом вокруг нуля согласно равномерной функции распределения с шириной W . Второй член суммы содержит интегралы обмена только между ближайшими соседними узлами i и j в решетке.

Главная идея метода деления заключается в том, чтобы увеличение в масштабе длин компенсировать за счет соответствующего уменьшения в масштабе энергий, изучая поведение спектральных корреляций в последовательно сужающейся области энергии. Двумерная решетка линейного размера

L практически разбивается на меньшие квадратные ячейки одинакового размера l , которые являются статистически независимыми друг от друга. Далее гамильтониан диагонализуется с наложением открытых граничных условий. Таким образом, вычисляются собственные значения E_α и собственные волновые функции $|\alpha\rangle = \sum_i \alpha_i |i\rangle$ для каждой ячейки. Выбираются только такие m собственные значения, которые наиболее близки к заданной точке в спектре E . Как правило, эта спектральная точка и есть уровень Ферми $E = E_F$. Остальные собственные значения, отличные от выбранных, и соответствующие им собственные волновые функции в дальнейшем отбрасываются. Затем четыре ячейки группируются вместе, чтобы образовать новую квадратную ячейку размером $2l$. Используя матричные элементы переходов между граничными узлами соседних ячеек, можно вычислить гамильтониан ячейки следующего, большего размера, который будет выражаться через собственные значения и собственные вектора гамильтониана ячейки меньшего размера. Так, продолжая последовательное удвоение размера ячейки в $l \rightarrow 2l$, $2l \rightarrow 4l$ и т.д., можно итеративным путем достичь достаточно больших размеров.

Для этого мы использовали «усеченный» набор собственных электронных состояний таким образом, чтобы секулярные матрицы больших ячеек имели ранг $4m \times 4m$. Диагональ матрицы состоит из собственных значений E_α , ($\alpha = 1, \dots, 4m$), в то время как недиагональные матричные элементы состоят из следующего, отличным от стандартного метода способом. В представлении узельных состояний недиагональная часть начального гамильтониана содержит только те ненулевые матричные элементы ($I = 1$), которые соответствуют ближайшим соседним узлам (2). Поэтому матричные элементы переходов между состояниями $|\alpha\rangle$ и $|\beta\rangle$ ячеек i и j даются выражением

$$V_{\alpha\beta}^{jk} = \sum_i \alpha_i^{(j)} \beta_i^{(k)}. \quad (3)$$

Это суммирование проводится по всем узлам, расположенным на противоположных границах двух спаренных ячеек. Результирующие секулярные матрицы опять диагонализируются. Новый набор уровней энергий и соответствующие им собственные функции являются приближениями к точным решениям гамильтониана. Причем эти приближения сходятся к своим пределам по теории возмущений, так как размер гильбертова пространства квадратной решетки размером $2l$ усечен. Снова проводится очередная итерация, спектр укорачивается от $4m$ до m уровней, которые наиболее близки к заданной энергии $E = E_F$, и вся процедура с удвоением линейного размера ячеек повторяется. В этом, по сути, и заключается алгоритм деления.

В то время как на каждом шаге итерации размер системы увеличивается, ранг секулярной матрицы, которую необходимо численно диагонализировать, остается постоянным — $4m \times 4m$. На конечном этапе, когда последний шаг итерации приводит к $2l = L$, на систему накладываются периодические граничные условия. Таким образом, за счет пренебрежения квантовых состояний, отстоящих по шкале энергии достаточно далеко от интересующей энергии Ферми, можно достичь произвольно большого размера системы. Единственным ограничением является быстрое действие имеющихся компьютеров.

Применяя теорию возмущений, Ли ранее доказал [4; 5], что эффект усечения спектра приводит к значительному смещению от одной случайной реализации к другой, которая также принадлежит к тому же самому статистическому ансамблю. Разумно предположить, что спектральные корреляции также не подвергаются существенному изменению вследствие применения алгоритма деления. Следовательно, этот алгоритм может предоставить информацию не только о средних значениях, но и о спектральной статистике. В качестве дополнительной особенности нужно отметить, что из-за фиксированного числа неотброшенных состояний вблизи E рассматриваемый интервал энергии сужается по закону L^{-2} с увеличением размеров системы. Статистика уровней энергии может изучаться в очень узкой области энергий. Тем самым можно избежать проблему перемешивания локализованных и пространственных состояний, которая существенно усложняет численную задачу. Хотя метод деления не применим для получения точных значений уровней энергий всего спектра, его преимущество очевидно для вычисления правильных решений спектральной статистики в узких интервалах энергии, центрированных на уровне Ферми.

Распределение межуровневых интервалов

Используя алгоритм деления, описанный выше, мы вычисляем функцию распределения состояний между соседними дискретными уровнями $P(s)$ для двумерных систем различных размеров L и для нескольких значений степени беспорядка W примесного потенциала. В начале берутся 16384

ячеек размером $l = 8$. Все линейные размеры выражаются в длинах постоянной кристаллической решетки a . Затем производятся итерации до тех пор, пока не достигается максимальный размер $L = 1024$. На каждом шаге итерации берутся только $m = 25$ собственных значений и собственных волновых функций, ближайших к центру зоны $E = 0$.

Чтобы получить функцию распределения вероятности с приемлемой точностью, мы проводим вычисления для ансамбля, состоящего из 180 случайных реализаций, который дает нам 4500 уровней. Средняя плотность состояний $\rho(E)$ оказывается практически постоянной в рассматриваемом интервале энергии. На рисунке 1 приведены результаты вычислений $P(s)$ для решетки размером $L = 256$ при степени беспорядка $W = 5$. Чтобы проверить надежность метода, мы сравнили результаты, полученные алгоритмом деления с результатами точной диагонализации с использованием метода Ланцоша. Только три реализации случайного потенциала были рассмотрены. Интервал энергии был достаточно широким. После выпрямления (unfolding) спектра функция распределения $P(s)$ вычислялась в виде гистограмм.

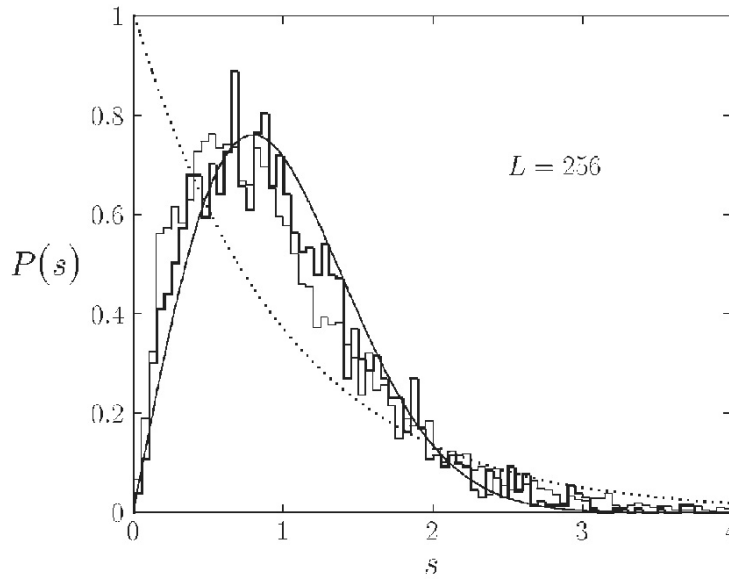


Рисунок 1. Распределение расстояний между уровнями энергии $P(s)$ для двумерной решетки размером $L^2 = 256^2$ при степени беспорядка $W = 5$, полученное алгоритмом деления (гистограмма с толстой линией) и точной процедурой Ланцоша (гистограмма с тонкой линией).

Распределение Вигнера и Пуассона показаны сплошной и пунктирной гладкими линиями соответственно

Из рисунка 1 видно, что в пределах приемлемых статических ошибок наше приближенное вычисление методом деления хорошо согласуется с результатами точной диагонализации. Наибольшее расхождение наблюдается в областях $s \approx 0,5$ и $s = 1,3$, что, по-видимому, вызвано рассмотрением различных ширин интервалов энергии. Итеративно продолжая процедуру деления, мы достигли рекордных, ранее не встречавшихся в литературе размеров квантовой двумерной решетки $L = 1024$. Для таких «гигантских» размеров решетки метод Ланцоша, в отличие от алгоритма деления, уже не справлялся даже с самыми узкими интервалами энергий за одинаковый период компьютерного времени. Это не удивительно, так как прямая диагонализация имеет дело с матрицами, порядок которых превышает миллион, в то время как алгоритм деления диагонализует матрицы с порядком $m = 1000$.

Полученные результаты показывают, что $P(s)$ для данного конечного размера изменяется от распределения Вигнера $P_w(s)$ к распределению Пуассона $P_p(s)$, если степень беспорядка увеличивается. Кроме того, функция распределения $P(s)$ испытывает непрерывный переход между двумя этими фундаментальными распределениями, когда размер системы увеличивается при фиксированном беспорядке W . Мы демонстрируем, что $P(s)$ хорошо описывается аналитическими $P_w(s)$ и $P_p(s)$ для наименьшего и наибольшего размеров соответственно.

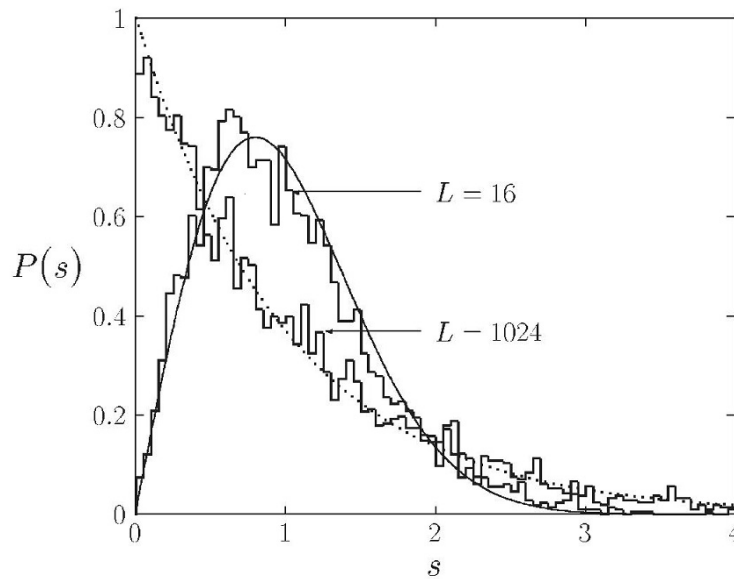


Рисунок 2. Распределение $P(s)$ для решетки размером $L^2 = 16^2$ и $L^2 = 1024^2$ при степени беспорядка $W = 6$. (Распределение Вигнера и Пуассона показано сплошной и пунктирной гладкими линиями соответственно.)

В качестве примера на рисунке 2 приведены результаты численного расчета $P(s)$ для этих двух размеров $L = 16$ и 1024 при степени беспорядка $W = 6$. Из метода трансфер-матриц известно, что длина локализации для этого беспорядка равна $\zeta_0 = 37,46$ [7]. Размер системы $L = 1024$ немного превышает длину локализации, что означает полную локализацию всех электронных состояний. Соседние уровни в спектре принадлежат тем локализованным состояниям, которые максимально удалены друг от друга в пространстве, т.е. типичное расстояние между ними соответствует наибольшему масштабу длин L . Так как интегралы перекрытия между состояниями экспоненциально малы, т.е. $\sim \exp(-2L/\zeta)$, уровни энергии нескоррелированы. Поэтому межуровневые интервалы распределены случайно, другими словами, по Пуассону. С другой стороны, последовательные уровни двумерной решетки, которая меньше, чем ζ_0 , соответствуют электронным состояниям со значительным взаимным перекрытием волновых функций. Статистика уровней для такого малого размера описывается теорией случайных матриц. Следовательно, функция $P(s)$ в слаболокализованном режиме стремится к распределению Вигнера. В ортогональном ансамбле, рассматриваемом в данной работе, $P(s)$ ведет себя линейно по s для малых s из-за квантово-механического отталкивания электронных термов.

Автор благодарен В.Краммеру из университета Бремен (Германия) за полезные замечания.

Список литературы

- 1 Cullum J.K., Willoughby R.K. Lanczos algorithms for large symmetric eigenvalue problems / Ed. Birkhauser. — Boston, 1985. — 355 p.
- 2 Zharekeshev I.Kh., Kramer B. Advanced Lanczos diagonalization for models of quantum disordered systems // Comp. Phys. Comm. — 1999. — Vol. 121–122. — P. 502–506.
- 3 Wilson K.G. // Rev. Mod. Phys. — 1979. — Vol. 47. — P. 773–821.
- 4 Lee P. // Phys. Rev. Lett. — 1979. — Vol. 42. — P. 1492–1496.
- 5 Aoki H. // J. Phys. — 2004. — Vol. 13. — P. 1492.
- 6 Wigner E.P. // Ann. Math. — 1957. — Vol. 62. — P. 548–599.
- 7 Zharekeshev I.Kh., Kramer B. Numerical-scaling study of the statistics of energy levels at the Anderson transition // Statistical and Dynamical Aspects of Mesoscopic Physics / Eds. D.Reguera, G.Platero, L.L.Bonilla, and J.M.Rubi. — Lecture Notes in Physics 547. — Berlin: Springer-Verlag, 2000. — P. 237–251.

И.Х.Жарекешев

Спектралдық корреляцияларға арналған бөлу алгоритмі

Электрондық спектрді сараптаудың жетілдірілген есептік тәсілі дайындалып берілген. Реттелмеген қатты денеде энергия деңгейлерінің статистикасы зерттелген. Диагоналдық реттелмеулі тығыз байланыстағы екі өлшемді моделі үшін спектордың алгоритмдік бөлінуі қарастырылған. Кең көлемді нанокластерлерде, мәселен, бір миллионға дейінгі атомы бар графендер сияқты, энергияның кванттық деңгейі есептеліп шығарылған. Біздің зерттеулеріміз нанокластердің көлемі өскенде Вигнер спектрі статистикасының Пуассон спектрі статистикасына ауысатынын көрсетті.

I.Kh.Zharekeshev

Algorithm of division for spectral correlations

A numerical method for the analysis of the electron spectrum is developed. The energy level statistics is considered in the disordered solid state. The division algorithm of the spectrum for two-dimensional tight-binding model with the diagonal disorder is applied. Quantum energy levels for large nanoclusters, such as graphenes containing up to million atoms are calculated. Our results show a transition of spectral statistics from Wigner towards Poisson statistics when the cluster size increases.

А.К.Салькеева¹, Л.М.Ким², А.Д.Тулегулов², Е.Т.Турмухамбетова³

¹Карагандинский государственный технический университет;

²Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова;

³Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева, Алматы

Особенности влияния молекул структурной воды в сульфатах щелочных металлов

В работе приведены результаты изучения оптических и радиационных свойств моногидрата сульфата калия K_2SO_4 и лития $LiKSO_4$, активированных ионами самария и гадолиния. Показано, что влияние на оптические свойства структурной воды, входящей в активированные ионами щелочных металлов кристаллы при их выращивании из водных растворов, различно для кристаллов K_2SO_4 и $LiKSO_4$. Отмечено, что объектами исследования являются кристаллы сульфата калия и сложного литий-калий сульфата, в которых ионы трехвалентного редкоземельного элемента являются гетеровалентной примесью. Определено: нейтральные молекулы воды в ионной кристаллической решетке, занимая катионные вакансии, могут выполнять роль компенсатора избыточного заряда. Доказано, что существует локальный и нелокальный механизмы компенсации избыточного заряда примесных ионов.

Ключевые слова: сульфаты, щелочные металлы, структурная вода, влияние, люминесценция.

В работе [1] приводятся результаты изучения оптических и радиационных свойств моногидрата сульфата лития, активированного ионами трехвалентного самария. Особенностью примесных ионов редкоземельных элементов является экранировка валентными электронами f -обложки. Оптические свойства ионов самария в матрице сульфата лития слабо изменяются при дегидратации моногидрата. В данном случае речь идет о кристаллической воде, т.е. ее молекулы образуют собственную подрешетку. Слабые изменения оптических свойств примесных ионов самария при дегидратации моногидрата лития связываются с тем, что молекулы кристаллической воды не находятся в ближайшей координационной сфере.

Объектами исследования данной работы являются кристаллы сульфата калия и сложного литий-калий сульфата, активированного ионами самария и гадолиния. В данных кристаллах ионы трехвалентного редкоземельного элемента являются гетеровалентной примесью. Следовательно, их вхождение в кристаллическую решетку приводит к возникновению дополнительных катионных вакансий, компенсирующих избыточные заряды. При росте кристаллов из водных растворов в эти вакансии могут захватываться молекулы воды. В этом случае кристаллы содержат структурную воду. Нейтральные молекулы воды в ионной кристаллической решетке, занимая катионные вакансии, могут выполнять роль компенсатора избыточного заряда. Существуют локальный и нелокальный механизмы компенсации избыточного заряда примесных ионов. При локальной компенсации, например, вакансия располагается рядом с примесным ионом, при нелокальной — она может быть в любом месте. Главное, чтобы сохранялась электронейтральность кристалла в целом.

Целью данной работы является изучение оптических свойств сульфата калия и литий-калия, активированных ионами самария и гадолиния.

Монокристаллы K_2SO_4 выращивались из насыщенных водных растворов при 40 °С методом изотермического испарения растворителя. Активатор добавлялся в исходный раствор в виде хлоридов трехвалентного самария или гадолиния. Повышенная температура роста должна препятствовать гидратации. По всем литературным данным, сульфат калия не гидратируется. Однако исследования спектров возбуждения и фотолюминесценции кристаллов K_2SO_4-Sm и K_2SO_4-Gd показали [2], что примесные ионы образуют в данной матрице два типа центров свечения, имеющих различные спектры излучения и возбуждения фотолюминесценции. Длительная термическая обработка этих образцов при 600 °С приводит к исчезновению одного типа примесных центров [3]. В сульфате калия имеются два неэквивалентных катионных узла. Термический отжиг одного типа примесных центров позволяет предполагать, что образование двух типов примесных центров ионами одной природы связано с разными способами компенсации избыточного заряда — катионными вакансиями, молекулами структурной воды или их комбинацией. Изменение элементного состава образцов при термической обработке ярко проявляется при измерении кривых термостимулированной люминесценции (ТСЛ) [3].

Для того чтобы убедиться в том, что примесные ионы входят в кристаллическую решетку матрицы, нами были измерены оптические спектры поглощения. На рисунке 1 представлены полученные при комнатной температуре результаты. Спектр поглощения измерен относительно неактивированного кристалла. Для измерения спектров поглощения были подготовлены тонкие пластины кристаллов толщиной менее 0,3 мм. Использование тонких кристаллов и измерение спектров поглощения относительно неактивированного образца позволило в УФ-области, где сигнал относительно слабый, выявить поглощение примесными ионами.



Рисунок 1. Изменение оптической плотности до (1) и после термической обработки (2) кристалла $K_2SO_4-Sm^{3+}$

На рисунке 1(1) представлен спектр поглощения монокристалла K_2SO_4 , активированного ионами трехвалентного иона самария (0,1 моль %). Из рисунка видно, что в области 3,9–6 эВ в активированном кристалле сульфата калия наблюдаются три полосы оптического поглощения. При комнатной температуре их максимумы находятся при 4,30, 4,48 и 5,49 эВ. Поскольку в кристаллах K_2SO_4 и K_2SO_4-Cl подобных оптических полос поглощения нет, их появление мы связываем с трехвалентными ионами самария. Доказательством этого утверждения является корреляция оптической плотности в указанных полосах поглощения с концентрацией примесных ионов в исходном растворе.

Спектр поглощения кристалла K_2SO_4-Gd при комнатной температуре имеет три полосы поглощения с максимумами при 4,36, 4,58 и 5,54 эВ. Сравнение спектров поглощения для монокристалла сульфата калия, активированного ионами самария и гадолиния, показывает их качественное подобие. В обоих кристаллах наблюдается по три полосы поглощения. Максимумы полос поглощения у ионов гадолиния в матрице сульфата калия незначительно смещены в сторону более коротких длин волн по сравнению с полосами поглощения самария.

Два типа примесных центров в матрице сульфата калия, активированных трехвалентными ионами самария или гадолиния, могут возникнуть по двум причинам: из-за неэквивалентности катионных узлов кристаллической решетки или существенных различий в ближайшем окружении примесных ионов.

На рисунке 1(2) представлен спектр поглощения кристалла K_2SO_4-Sm при комнатной температуре после термической обработки при температуре 200 °С в течение суток. Более длительная термическая обработка невозможна, так как резко уменьшается прозрачность. Образцы становятся матовыми. Нагревание монокристалла, активированного ионами самария, до более высокой температуры приводит к их разрушению. Интересно отметить, что подобного не происходит у неактивированных кристаллов. Из рисунка видно, что после термической обработки интеграл полосы поглощения с максимумом при 4,30 эВ уменьшается, а у оптических полос с максимумами при 4,48 и 5,49 эВ увеличивается. Отметим, что площадь под кривой оптических полос поглощения не меняется. Аналогичный результат был получен для монокристаллов сульфата калия, активированного ионами гадолиния.

Если появление двух типов центров свечения связано с замещением примесными ионами катионов в неэквивалентных узлах, возникает вопрос: «каким образом ионы самария или гадолиния перескакивают при нагревании из одного катионного узла в другой?». Кроме того, как следует из полученных результатов, этот процесс имеет определенную направленность.

На рисунке 2 представлены спектры излучения сульфата калия, активированного ионами самария, измеренные для порошкообразных образцов. Использование порошкообразных образцов даёт дополнительную информацию для анализа. Эти образцы были получены из исходных кристаллов. В работе [2] показано, что люминесцентные свойства монокристаллов и порошков одинаковы. При температуре 80 К образцы возбуждались квантами с энергией 4,40 эВ. При таком выборе полосы возбуждения в спектре фотолюминесценции хорошо проявляются обе полосы излучения. Термическая обработка проводилась при 600 °С. Из рисунка видно, что с увеличением длительности термической обработки в обоих образцах интенсивность длинноволновой люминесценции уменьшается до полного исчезновения. Подобное поведение спектра излучения предполагает, что в активированных кристаллах исчезает длинноволновая полоса поглощения. Перескоком примесных ионов из катионного узла одного типа в другой объяснение данного явления представляется маловероятным. Кристаллы выращиваются в условиях термодинамического равновесия. Если при более высоких температурах термодинамическое равновесие достигается перескоком примесных ионов из катионных узлов одного типа в другой, то при понижении температуры должны идти релаксационные процессы, возвращающие систему в исходное состояние. Экспериментально установлено, что после термической обработки и длительного хранения образца при комнатной температуре в сухой атмосфере исходный вид спектров излучения не восстанавливается.

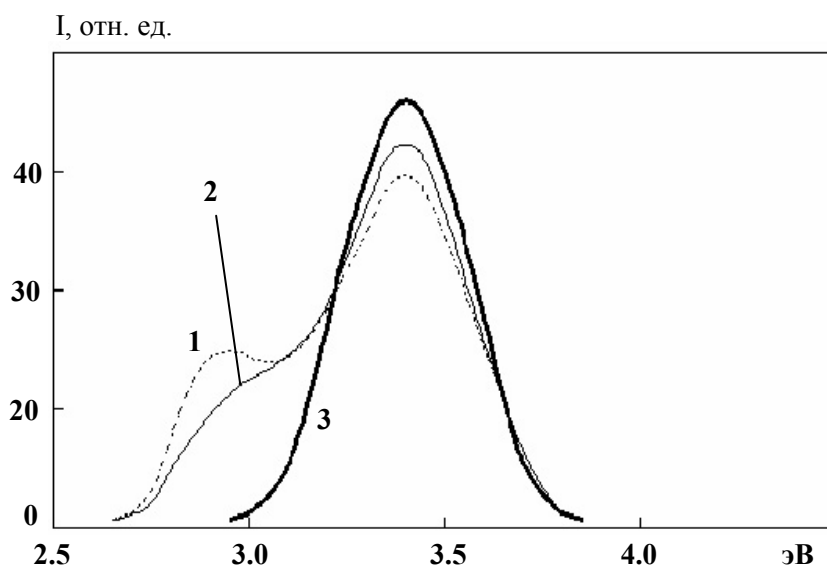


Рисунок 2. Спектр излучения K_2SO_4-Sm до (1) и после термической обработки. Длительность термической обработки 1 час (2) и 3 часа (3)

Результаты, аналогичные приведенному на рисунке 2, получены для порошкообразных образцов для сульфата калия, активированного ионами гадолиния.

Трехвалентные ионы Sm и Gd замещают в кристаллической решетке изучаемой матрицы катионы K^+ . Для компенсации избыточного заряда на каждый примесный ион должны возникать две катионные вакансии. Влияние термической обработки на спектрально-люминесцентные свойства сульфата калия, активированного ионами самария или гадолиния, нами связывается с наличием в кристаллической решетке молекул воды. В две расположенные рядом катионные вакансии, которые компенсируют избыточный заряд примесного иона, может быть захвачена молекула воды. Молекула структурной воды не имеет электрического заряда. Поэтому, когда молекулы воды размещаются в катионной подрешетке, они компенсируют избыточный заряд гетеровалентного примесного катиона. Строение кристаллической решетки сульфата калия и размеры молекулы воды позволяют этому реализоваться. При термической обработке часть или все молекулы структурной воды удаляются. Это и

приводит к изменениям в спектрах оптического поглощения, возбуждения и излучения фотолюминесценции.

Особенностью редкоземельных элементов является незаполненная f -оболочка, которая экранируется валентной электронной оболочкой. Из этого следует, что небольшие вариации в ближайшем окружении примесных редкоземельных элементов не сильно влияют на их оптические свойства. Изменения координационного числа по атомам кислорода у катионных узлов не должны приводить к столь существенным различиям в оптических свойствах двух типов примесных центров. Молекулы воды обладают дипольным моментом. В результате они могут взаимодействовать с примесными редкоземельными ионами, что и приводит к наблюдаемым оптическим спектрам. При термической обработке образцов примесные центры, взаимодействующие с молекулами структурной воды, исчезают. Существенные различия в оптических спектрах двух типов примесных центров, создаваемых ионами одной природы, позволяют утверждать, что компенсация избыточного заряда имеет локальный характер.

В отличие от спектров поглощения для сульфатов калия, активированных ионами самария или гадолиния в матрице LiKSO_4 , у этих примесных ионов наблюдается одна оптическая полоса.

На рисунке 3 приведены спектры возбуждения и излучения фотолюминесценции кристаллов $\text{LiKSO}_4\text{-Sm}$ и $\text{LiKSO}_4\text{-Gd}$ при 80 К. Люминесценция кристалла $\text{LiKSO}_4\text{-Sm}$ при фотовозбуждении имеет максимум при 3,85 эВ. Полоса излучения примесных ионов самария не меняется при изменении энергии возбуждающих квантов в пределах полосы поглощения. Это подтверждается измерениями спектра возбуждения для данной люминесценции.

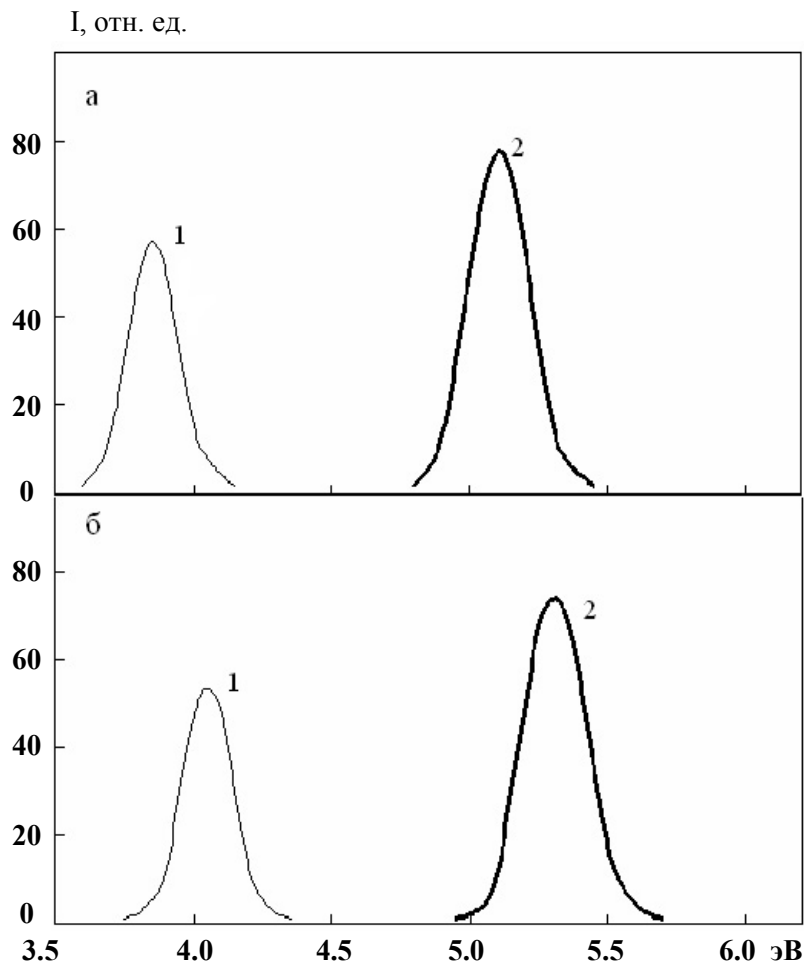


Рисунок 3. Спектры излучения (1) и возбуждения фотолюминесценции при 80 К для кристаллов $\text{LiKSO}_4\text{-Sm}$ (а) и $\text{LiKSO}_4\text{-Gd}$ (б)

Аналогичные результаты получены при измерениях спектров излучения и возбуждения фотолюминесценции в кристаллах $\text{LiKSO}_4\text{-Gd}$. Максимум полосы излучения наблюдается при температуре жидкого азота при 4,05 эВ.

Независимость спектров излучения от энергии падающих квантов в пределах оптической полосы примесного поглощения позволяет утверждать, что в изучаемых кристаллах образуется один тип примесных центров люминесценции.

В кристалле LiKSO_4 два неэквивалентных катионных узла: один имеет тетраэдрическое, а второй октаэдрическое окружение из атомов кислорода. Примесные ионы замещают в решетке катионы. Избыточный заряд компенсируется катионными вакансиями. В решетке сульфата калия имеет место локальная компенсация избыточного заряда примесных ионов. Приведенные экспериментальные результаты показывают, что в кристаллах LiKSO_4 ионы самария и гадолиния создают один тип центров люминесценции.

Примесные ионы редкоземельных элементов менее чувствительны к изменениям в ближайшем окружении, чем ионы другого типа. Образование одного типа центров свечения предполагает ряд альтернативных гипотез или их комбинации: примесные ионы замещают катионы только в определенных узлах кристаллической решетки, кристаллы LiKSO_4 с примесными ионами не гидратируются; с этими примесными ионами реализуется нелокальная компенсация заряда.

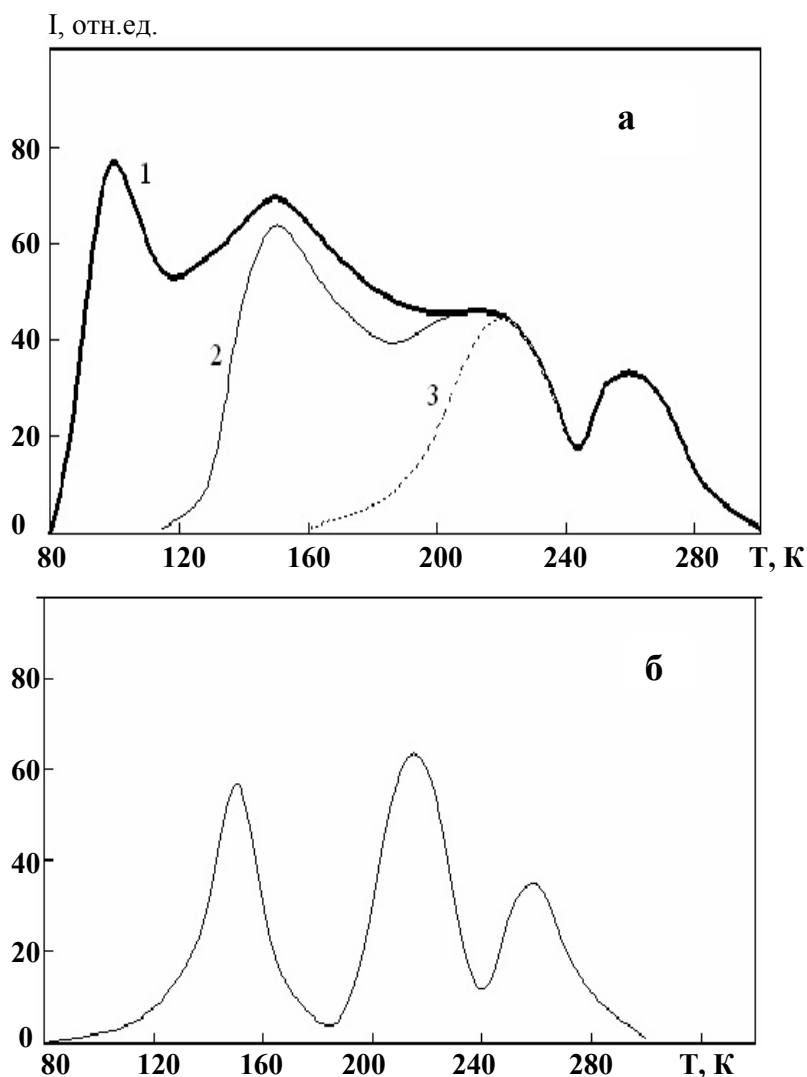


Рисунок 4. *а* — кривые ТСЛ для $\text{LiKSO}_4\text{-Sm}$ при дозе облучения 50 кГр (1) и после изотермического отжига при 100 (2) и 150 К (3); *б* — кривые ТСЛ для кристаллов $\text{LiKSO}_4\text{-Sm}$ после термической обработки. Доза облучения — 10 кГр

При гидратировании активированных кристаллов сульфата калия их спектрально-люминесцентные свойства меняются при термической обработке. Кристаллы LiKSO_4 , активированные ионами самария и гадолиния, подвергались длительной (до 24 ч) термической обработке при температурах 250–300 °С, а порошкообразные — при 600 °С или переплавлялись. Измерения спектров поглощения для монокристаллов или спектров излучения и возбуждения фотолюминесценции дали результаты, не показывающие влияния термической обработки на оптические свойства образцов.

Влияние термической обработки проявляется при измерении кривых ТСЛ. На рисунке 4а представлены кривые ТСЛ для монокристалла LiKSO_4 , активированного ионами самария. На кривой ТСЛ имеется четыре выраженных пика рекомбинационного свечения. Их максимумы находятся при 100, 150, 220 и 260 К. Введение примесных ионов привело к появлению двух новых пиков рекомбинационного свечения при 100 и 220 К.

На рисунке 4б представлена кривая ТЛС для кристалла $\text{LiKSO}_4\text{--Sm}$ после облучения рентгеновскими лучами, подвергнутого термической обработке. Видно, что при этом исчезает пик свечения с максимумом при 100 К.

Введение ионов гадолиния в кристаллы литий-калий сульфата приводит к появлению, как и в случае ионов самария, двух новых пиков рекомбинационной люминесценции с максимумами при 100 и 230 К.

В кристаллах LiKSO_4 , активированных ионами самария и гадолиния, появляется один и тот же пик свечения с максимумом при 100 К. Как упоминалось выше, активация примесными ионами объектов исследования проводилась хлоридами редкоземельных элементов. Примесные ионы хлора не дают новых пиков ТСЛ в изучаемой матрице [3].

Из рисунков видно, что для кристаллов с примесью ионов самария или гадолиния термическая обработка приводит к одному и тому же результату. Исчезает пик рекомбинационной люминесценции с максимумом при 100 К. Это позволяет, по аналогии с сульфатом калия, связать его появление с распадом дефектов, возникающих при радиолизе молекул структурной воды.

В отличие от сульфата калия молекулы структурной воды не проявляются в спектрах поглощения, излучения и возбуждения фотолюминесценции примесных центров. В кристаллах LiKSO_4 , активированных ионами самария или гадолиния, примесные ионы образуют один тип центров люминесценции. Гетеровалентные примесные ионы приводят к возникновению дополнительных вакансий в кристаллической решетке матрицы. Наличие молекул структурной воды, которое проявляется на кривых ТСЛ, и отсутствие их влияния на оптические свойства примесных центров позволяют утверждать, что в кристаллах $\text{LiKSO}_4\text{--Sm}$ и $\text{LiKSO}_4\text{--Gd}$ компенсация избыточного заряда является не локальной, т.е. катионные вакансии могут образовываться в любом узле катионной подрешетки, а не только в ближайшем окружении примеси.

Таким образом, в кристаллах K_2SO_4 и LiKSO_4 , активированных ионами самария и гадолиния, молекулы структурной воды частично компенсируют избыточный заряд у примесных ионов. В сульфате калия локальная компенсация заряда приводит к появлению двух типов центров люминесценции, образованных примесными ионами одной природы. В смешанном сульфате лития и калия компенсация заряда нелокальная. Поэтому влияние молекул структурной воды в оптических свойствах активированных кристаллов не проявляется.

Список литературы

- 1 Бахытжан А.Б. Особенности оптических и радиационных процессов в кристаллах сульфата лития: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Алматы, 2006. — 16 с.
- 2 Ким Л.М., Салькеева А.К. Влияние ионов самария и гадолиния на радиолиз сульфата калия // Вестн. КарГУ. Сер. Химия. — 2007. — С. 14–18.
- 3 Салькеева А.К., Ким Л.М., Кукетаев Т.А. Влияние термической обработки на рекомбинационную люминесценцию сульфата калия, активированного ионами трехвалентного гадолиния // Изв. вузов. Сер. Физика. — 2006. — Т. 49. — № 6. — С. 89–90.

А.К.Сәлкеева, Л.М.Ким, А.Д.Түлеғұлов, Е.Т.Тұрмұхамбетова

Құрылымдық су молекулаларының сілтілі металдар сульфаттарына әсерінің ерекшеліктері

Мақалада Sm немесе Gd иондарымен белсендірілген K_2SO_4 және $LiKSO_4$ кристалдарының оптикалық қасиеттеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Калий сульфатында табиғаты бір қоспа иондары екі типті люминесценция орталықтарын, ал литий сульфатында бір типті орталық түзеді. Екі типті люминесценция орталықтарының түзілуі зарядты локальді компенсациялау кезіндегі су молекулаларының әсерінен деп түсіндіріледі. $LiKSO_4$ кристалдарында су молекулаларының болуы термостимулденген люминесценция (ТСЛ) қисықтарында байқалады. Дегенмен олар қоспа орталықтарының оптикалық қасиеттеріне әсер етпейді. Олай болса, бұл кристалда зарядты компенсациялау механизмі локальді емес.

A.K.Salkeeva, L.M.Kim, A.D.Tulegulov, E.T.Turmukhambetova

Features of influence molecules structured water in sulphate alkaline metals

In work the comparative analysis of optical properties K_2SO_4 and $LiKSO_4$ doped by ions Sm or Gd is carried out in this work. In potassium sulphate the impurities ions of one nature are formed the two kinds of centres, and in $LiKSO_4$ one kind. The formation of two kinds of the luminescence centres is explained by influence of water molecules at local indemnification of a charge. In crystals $LiKSO_4$ presence of water molecules show on TL curves. However they do not influence optical properties of the impurity centres. Hence, in the given crystal the mechanism of charge indemnification is unlocal.

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 621.7

Б.Р.Нусупбеков

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

Качественная оценка эффективности влияния электрогидроимпульсного способа очистки поверхности

Статья посвящена качественной оценке эффективности влияния электрогидроимпульсного способа очистки поверхности. Разработана и собрана экспериментальная электрогидроимпульсная установка. Как показывает практика, структура накипи также в значительной степени зависит от солевого состава питательной и котловой воды, а также от физико-химических условий, при которых протекают процессы образования накипи в паровых котлах. В ходе выполнения работ получены зависимости степени очистки труб от импульсного напряжения на коммутирующем устройстве и от частоты следования разрядов. Также получены результаты перерасхода условного топлива (для котлоагрегатов на номинальной нагрузке) за месяц при образовании накипи толщиной до 2 мм, в связи с чем очистка теплообменных поверхностей от твердых отложений с помощью электрогидроимпульсной установки в настоящее время является наиболее эффективным и экологически безвредным способом.

Ключевые слова: электрогидроимпульсный способ, экспериментальная установка, накипь, процессы, структура, питательная вода, котловая вода, паровой котел.

Внедрение эффективных методов теплообмена в каналах и трубах, уменьшение гидравлических, тепловых потерь и повышение интенсификации теплообмена и оптимальное использование топливно-энергетических запасов также являются основными проблемами современной теплоэнергетики [1–3].

Если в качестве рабочей среды в котельной установке используется техническая вода, то интенсивность появления накипи на внутренней поверхности трубы экрана и парогенерирующего пучка труб зависит от состава и степени очистки воды, наличия механических примесей и растворенных в ней солей. Однако работа теплообменных аппаратов сопровождается постепенным образованием отложений накипи на поверхности, соприкасающейся с теплоносителями и растворами. Это приводит к снижению производительности оборудования и увеличению расхода топлива [2].

При современных способах очистки воды образование накипи считается ничтожно малым и в расчетах его термическим сопротивлением пренебрегают. Однако, как показывает практика эксплуатации котлов малой и средней мощности, вследствие объективных трудностей соблюдения водно-химического режима подготовки теплоносителя (в т.ч. сезонные изменения состава воды, трудности проведения регулярного и надлежащего контроля состава воды, проблемы со своевременной поставкой дорогостоящих химических реактивов и др.) неизбежно образуются внутритрубные отложения. Увеличение толщины слоя отложений, естественная шероховатость поверхности приводят к нежелательным результатам: увеличению термосопротивления стенки, уменьшению расхода теплоносителя, увеличению гидродинамического сопротивления. Очевидно, что перечисленные факторы снижают интенсивность теплообменного процесса при неизменных начальных условиях.

Следовательно, поиск новых методов удаления отложений с теплопередающих поверхностей становится актуальной технико-экологической задачей.

Накипные отложения на теплопередающих поверхностях представляют собой не что иное как минеральные новообразования, обязанные своим происхождением природе и человеку. Одной из наиболее часто встречающихся рабочих сред, используемых в теплообменниках, является вода. В частности, в системах теплоснабжения применяются в основном поверхностные речные и подземные

воды. В природных водах содержатся грубо дисперсные примеси, легко растворимые соли: NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄, бикарбонат железа Fe(HCO₃)₂, а также угольная кислота H₂CO₃ [1–3].

Обладая низкой теплопроводностью, слои ржавчины, накипи и других отложений резко ухудшают передачу тепла в паровых и водогрейных котлах, вызывая перерасход топлива. Например, слой накипи толщиной в 1 мм влечет за собой увеличение расхода топлива на 2,5 %, а толщиной в 4 мм — на 7,5 %, что для котла ДКВР-4 соответствует перерасходу мазута в 770 кг/сутки. При обработке глинозема толщина отложений накипи колеблется от нескольких миллиметров (в подогревателях пульпы) до двух метров (в карбонизаторах), что вынуждает останавливать оборудование для очистки от накипи 5–25 раз в месяц [1–3].

В следующей таблице представлены полученные нами результаты перерасхода условного топлива (для котлоагрегатов на номинальной нагрузке) за месяц при образовании накипи толщиной ($\delta_{отл}$) до 2 мм.

№ п/п	Тип котла	Часовой расход, кг/ч	Перерасход за месяц, кг $\delta_{отл} = 1,5$ мм	Перерасход за месяц, кг $\delta_{отл} = 2$ мм
Жидкое топливо				
1	ДКВР-2,5	200	11520	13680
2	ДКВР-4	320	18432	21888
3	ДКВР-6,5	550	31680	37620
4	ДКВР-10	840	48384	57456
5	ДКВР-20	1940	111744	132696
Твердое топливо				
6	E1/9	80	4608	5472
7	ДКВр-4–13ПМЗ-РПК	354	20386	24216
8	ДКВр-6,5–13ПМЗ-РПК	608	35038	41587

Образование в водогрейных котлах и теплообменниках отложений, нарушающих их нормальную работу, приводит к необходимости периодической очистки поверхностей нагрева.

Загрязнение поверхности нагрева котла со стороны воды повышает температуру стенки водогрейной, дымогарной или жаровой трубы, причем повышение температуры стенки будет тем больше, чем толще слой накипи и чем меньше её коэффициент теплопроводности. На рисунке 1 показано изменение температуры стенки ($t_{ст}$, %) водогрейной экранной трубы, расположенной в топочном пространстве (1100 °С), в зависимости от толщины ($\delta_{отл}$) накипи.

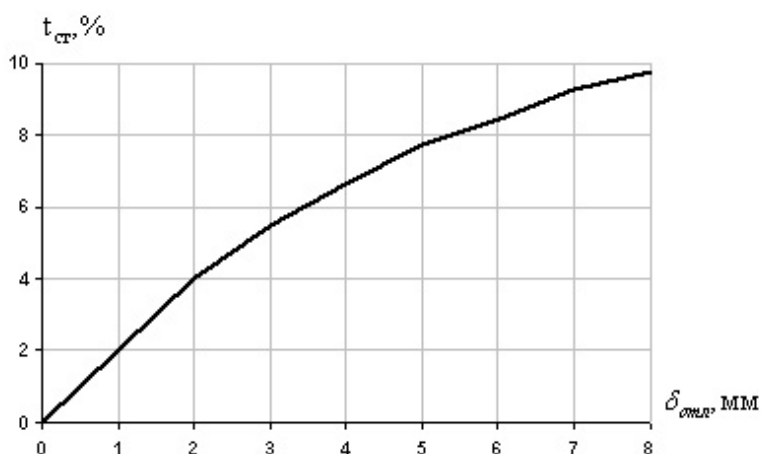


Рисунок 1. Влияние толщины слоя накипи на температуру стенки трубы

Повышение температуры стенки трубы ($t_{ст}$) вызывает снижение как предела прочности металла, так и предела текучести. Вследствие этого происходит разрыв труб или образование свищей, т.е. таких явлений, которые вызывают выход котла из строя. В оборотных и пролетных котлах при перегреве металла жаровой трубы из-за отложения на ней твердой накипи (в особенности в верхней её части) может произойти «посадка» трубы (выпучина в сторону топки).

Однако опыт эксплуатации показывает, что не все вещества, проникающие в котельный агрегат, остаются в нем в виде шлама или накипи, часть их выводится продувочной водой. Успешное решение проблемы борьбы с накипью и подавление процесса накипеобразования в теплообменных аппаратах и трубах возможно только на основе комплексных исследований с использованием современных физико-химических и электрогидравлических методов.

Как показывает практика, структура накипи также в значительной степени зависит от солевого состава питательной и котловой воды и от физико-химических условий, при которых протекают процессы образования накипи в паровых котлах. Химический анализ позволяет узнать род окислов и их относительное количество. Химический состав накипей, образующихся в паровых котельных агрегатах, весьма разнообразен. Однако они могут быть разделены на четыре группы: щелочноземельные, железоокисные, медные и силикатные накипи [4]. Следовательно, для эксплуатации теплообменного агрегата важно знать состав отложений, так как он часто позволяет вскрыть причину их образований.

Классические способы борьбы с накипью связаны с удалением из питательной воды солей жесткости (поглощением их различными ионитами) или добавлением к воде химических веществ (например, фосфатов). Эти способы очень дороги, а поэтому и применяют их в основном на крупных теплообменных устройствах. Многочисленный парк котлов, водоподогревателей и других теплообменных устройств малой и средней мощности зачастую питается обыкновенной сетевой водой. Как результат: быстрое образование на стенках аппаратов накипи. Для удаления образовавшихся отложений применяются различные приспособления и устройства, в том числе и механические, химические и другие, но они либо недостаточно эффективны или экологически вредны. Кроме того, на многих технологических предприятиях используются трубы из дорогостоящих металлов, которые после загрязнения трудно поддаются очистке, а в ряде случаев просто вырезаются и удаляются вместе с отложениями, что очень дорого. Поэтому необходимость в эффективной очистке полостей труб является в настоящий момент актуальной задачей не только в Республике Казахстан, но и в странах СНГ и дальнего зарубежья.

В связи с указанным выше, на наш взгляд, достаточно перспективными являются основанные на электрогидравлическом эффекте (ЭГЭ) установки [5–9] для очистки внутренних поверхностей труб. Элементарная оценка на основе модели многослойной цилиндрической стенки [1] показывает, что два слагаемых суммарного коэффициента термосопротивления соответственно растут пропорционально и по логарифмическому закону, с увеличением толщины отложений, при постоянных слагаемых. Если не рассматривать предельные случаи, когда проходные сечения отдельных трубок оказываются полностью забитыми твердыми отложениями, специальные тестовые эксперименты показывают, что в зависимости от толщины накипи трубки конденсаторов и котельных установок теряют до 50 % теплообменных качеств. Следовательно, важным требованием, вытекающим из условий обеспечения надежной работы современных котлов, является проведение периодической очистки теплообменных поверхностей.

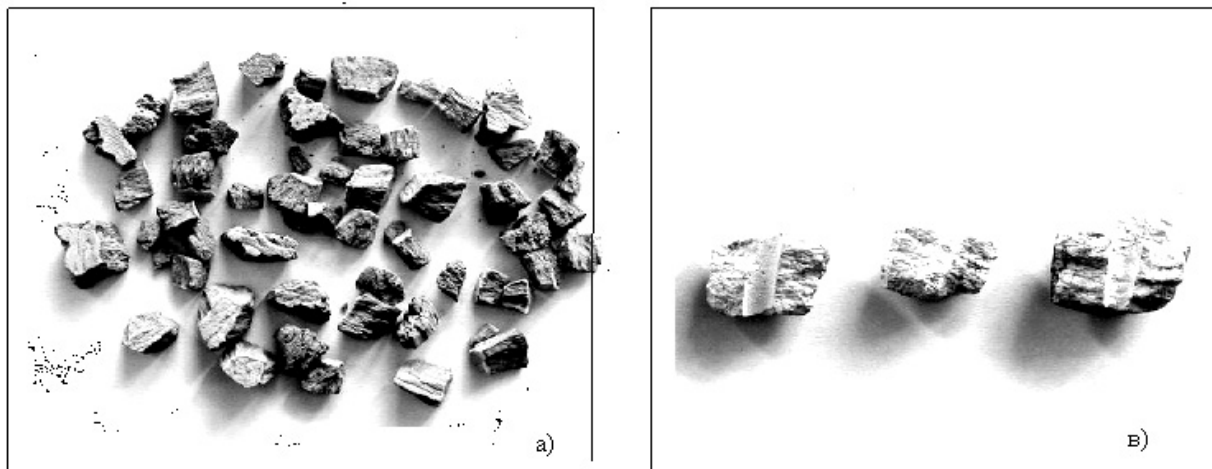
В ходе экспериментов состояние подвергнутой обработке поверхности $d = 38$ мм контролировалось микроскопическими наблюдениями (под микроскопом «МЕТАМ-81» при 80-кратном увеличении), которые установили отсутствие трещин или иных заметных деформаций. В процессе очистки под воздействием ударной волны отложения растрескиваются и скалываются фрагментами, размер которых колеблется в широких пределах (максимальный измеренный размер скопа составляет 17×28 мм) и затрудняет продвижение очищающего кабеля-электрода (рис. 2).

На очищенной поверхности трубы отмечены прижоги: точечные, в виде пятен, диаметрами $(0,5 \div 3,0) \cdot 10^{-3}$ м, и продолговатые, в виде полос шириной $(0,3 \div 1,0) \cdot 10^{-3}$ м, длиной $(6 \div 15) \cdot 10^{-3}$ м. Поверхность металла в местах прижогов была более шероховатая, чем исходная, максимальная высота микронеровностей достигает $0,086 \cdot 10^{-3}$ м.

Концентрация точечных прижогов колебалась в пределах $(1 \div 10) 1/\text{см}^2$ и зависела от положения подвижного электрода в момент прохождения участка трубы и скорости его перемещения. В местах прижогов поверхность оплавлена и заметны вкрапления меди (материала электрода) круглой формы, диаметрами $(0,032 \div 0,055) \cdot 10^{-3}$ м. Экспериментально доказано отсутствие влияния прижогов и вкрапления материала электрода отмеченных размеров на эксплуатационные свойства теплообменных труб.

Воздействие электрогидравлического удара и паровых пузырьков определенной концентрации на эффект удаления от твердых отложений исследовалось при импульсном напряжении на коммутирующем устройстве $10 \div 45$ кВ; при этом емкость конденсаторной батареи $0,1; 0,25$ мкФ. Межэлектродный промежуток изменялся от 5 до 20 мм при длинах передающего кабеля 25 м. В результате

проведенных работ для каждого эксперимента подобрана оптимальная мощность электрогидравлического удара и частота следования импульсов. Экспериментальные измерения проводились для труб диаметром 33; 38; 73 мм с толщиной накипи от 0,5 мм до 15 мм и длиной от 1,0 м до 3,0 м.



a — отложения в котловых трубах $d = 51$ мм;
b — отложения морских солей на выпарных аппаратах $d = 38$ мм
 опреснителей Мангышлакского атомного энергокомбината

Рисунок 2. Виды накипных отложений

Очистка различных труб происходит под воздействием ударной волны, образующейся при высоковольтном разряде в жидкости, зависит от электрических параметров установки, кавитации парового пузыря и направлена из парожидкостного генератора в очищаемую среду.

На рисунках 3 и 4 представлены основные электрические параметры электрогидроимпульсной установки и влияние концентрации паровых пузырьков на степень очистки (F / F_0) труб.

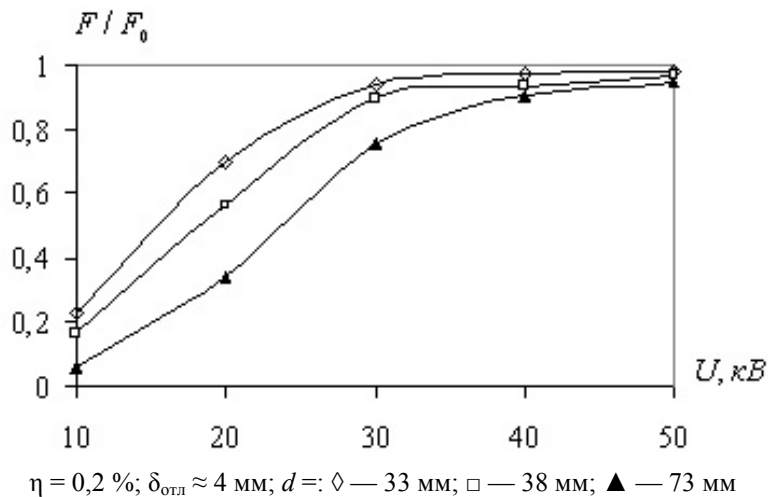


Рисунок 3. График зависимости степени очистки труб от импульсного напряжения на коммутирующем устройстве

Из полученных результатов (рис. 3 и 4) видно, что для полной очистки труб импульсное напряжение на коммутирующем устройстве должно иметь величину $150 \div 360$ Дж, а концентрация паровых пузырьков $\eta = 0,2\%$. Максимальное рабочее напряжение, необходимое для разрушения отложений, во время эксперимента составляет порядка $23 \div 45$ кВ, и устойчивая работа установки достигалась в диапазоне рабочих напряжений от 25 до 35 кВ. Для обеспечения нормальной скорости очистных работ (порядка 3 м/мин до 5 м/мин) частота следования разрядов устанавливалась из опытных данных порядка 7 Гц.

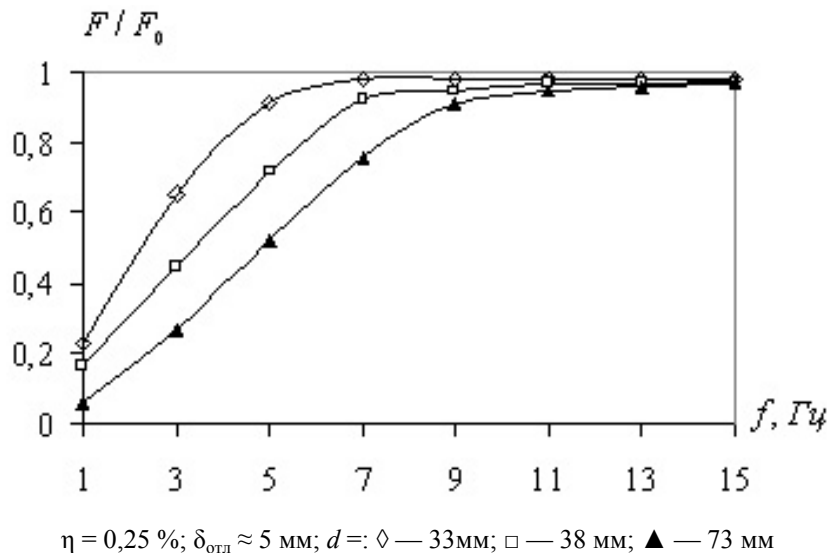


Рисунок 4. Зависимость степени очистки труб от частоты следования разрядов для различных труб

Чистота проведенных работ проверялась только с помощью микроскопа МЕТАМ-81, и при повторном прохождении кабель-электрода отложения практически отсутствовали. Как показывает анализ результатов, ударная волна, возникающая при искровом разряде в интервале значений импульсного напряжения на коммутирующем устройстве, не влияет на структуру поверхности труб.

Таким образом, практика подтверждает, что очистка теплообменных поверхностей от твердых отложений с помощью электрогидроимпульсной установки в настоящее время является наиболее эффективным и экологически безвредным способом.

Список литературы

- 1 Исаченко В.П. и др. Теплопередача // МЭИ. — 1981.
- 2 Четчин А.В., Занемонец Н.А. Теплотехника. — М.: Высш. шк., 1986. — 386 с.
- 3 Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. — М.: Наука, 1982. — 472 с.
- 4 Швейко А.Б., Бубликов Р.З. Влияние материала поверхности на отложения в теплообменном оборудовании систем технической воды // Теплоэнергетика. — 2002. — № 7. — С. 62–66.
- 5 Гульй Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий // АН УССР ПКБ электрогидравлики. — Киев: Наук. думка, 1990. — 280 с.
- 6 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект, применение в промышленности. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1986. — 252 с.
- 7 Кусаинов К.К. Гидродинамика, теплообмен и электрогидравлические явления при движении двухфазных сред в трубах. — Караганда: Изд-во КарГУ, 1998. — 112 с.
- 8 Кусаинов К., Нусупбеков Б.Р., Турлыбекова Р.С. Изучение микроструктуры котельных накипей // Вестн. развития науки и образования. — 2009. — № 2. — С. 7–10.
- 9 Нусупбеков Б.Р. Исследования эффективности очистки поверхностей электрогидравлическим методом // Тр. КарГТУ. — 2008. — № 3(32). — С. 67–70.

Б.Р.Нүсіпбеков

Электрогидроимпульстік әдіспен құбырдың ішін сапалы түрде тазалау

Құбыр ішіндегі пайда болатын қатты қақтардан тазарту жолдары қазіргі кезде келелі мәселелердің бірі екендігі баршамызға мәлім. Пайда болған қақтар жылу алмастырғыш қондырғылардың негізгі параметрлерін, оның ішінде жылу беру пәрменділіктерін азайтып қана қоймай, сонымен қатар отын шығынының көбейюіне де алып келеді. Сондықтан осы мақалада тәжірибе жүзінде алынған нәтижелердің мәліметтері мен негізгі графиктер келтірілген. Бу көпіршіктерін электрогидроимпульстік әдіспен бірге қолданған кезде құбыр ішінде пайда болған қақтар жылдам жойылып қана қоймай, әрі жақсы тазалатындығы көрсетілген. Электрогидроимпульстік қондырғының тұрақты электрлік параметрлеріне талдау жүргізілген. Құбыр қабырғасында пайда болған қақтардың құбыр температурасына әсері зерттелген.

B.R.Nusupbekov

Quality standard of efficiency of influence of electrohydraulic technology a way of clearing of a surface

In the given article the outcomes of experimental researches of intensification of thermoexchange and main lab tests on destruction trumpet of deposits are submitted. The experimental researches are conducted with the purpose of definition of a capability of electrohydraulic technology for mechanical destruction. The work is devoted to an effective utilization of natural resources, reduction of hydraulic, thermal losses and increase improve of heat exchange in boiler of small and average capacity. The technical and economic estimations of application of electrohydraulic effect for clearing bunches of pipes are shown. The dependences heat feed-back of a pipe and diagram of dependence reduction of the areas of a heated up surface from thickness adjournment are received.

К.К.Саденова

Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

Табиғи минералдардың микроқұрылымдық сипаттамаларына талдау жүргізу

Өндірістің дамуы және де Қазақстанның энергетикалық қауіпсіздігін арттыру табиғи минералдарды айтарлықтай дәрежеде ауқымды және тиімді қолданғаннан тәуелді. Мемлекеттің ауқымды аймағы өндіріс минералдары қорына бай. Мақалада электрогидроимпульстік эффектімен ұсақталған табиғи минералдардың микроқұрылымдарын зерттеудің нәтижелері келтірілген. Табиғи минералдарды зерттеу JSM 5910 электрондық талдауыш (расторлық) микроскоп көмегімен жүргізілді. Электрондық микроскоптың жарықтылық микроскоптан артықшылығы, яғни ұсақтау бетін зерттеу үшін кескіннің айқындалу тереңдігін және кескіндіні 18-ден 300 мың есеге дейін үлкейтуге болатындығы туралы айтылған.

Кілтті сөздер: энергетикалық қауіпсіздік, өндіріс, табиғи ресурстар, табиғи минералдар, электрогидроимпульстік эффекті, электронды микроскоп.

Керамикалық — электрокерамикалық, радиокерамикалық, көркем керамиканың, фильтрлейтін керамиканың, құрылыс керамикасының, фарфорлы-фаянстық, санитарлы және медициналық керамиканың; құрылыс индустриясының — цементтік және шынылық өндірісінде, жылуизоляциялық өндірісте, минералды мақтаны, абразивтерді, қағаздарды, лактарды, бояулар мен эмальдарды, пластикалық массаларды өндіру кезінде, көлік бөлшектерін өндіру кезінде және де су, ауа және т.б. тазалаған кезіндегі сорбенттер сияқты қолданылатын композициялық материалдардың перспективті толтырғышы болып табылатын өндірісін жауапты бөлімдерінде волластонит қолданылады.

Волластонит — У.Волластониттің есімімен (1700) аталған пироксидтер тобының минералы.

Бұл минерал қалыпты қысым мен 450 °С температура кезіндегі контактілі метаморфизмнің нәтижесінде қалыптасады. Волластонит триклиндік сингония кезінде кристалданып, химиялық құрылымы бойынша CaSiO_3 (CaO — 48,3 %; SiO_2 — 51,7 %) формуласына сәйкес келеді.

Волластонит бағалы минерал болып табылады. Ұзақ уақыт бойы ол пайдалы қазба ретінде қарастырылмаған және де бұл минералды қолданған ешқандай аймақ байқалмады. Волластонит дәнінің инелік пішіні өзінің алғаш рет керамикалық өндірісте қолданылатынын алдын ала анықтады. Соңғы жылдары волластонитті асбесттің орнына қолданып жүр, себебі асбест адам денсаулығына зиянды, ал волластонит мүлде зиянсыз минерал.

Геологиялық зерттеулер Қазақстанда волластониттік кеннің қоры дүние жүзі бойынша алда екенін көрсетеді. Волластониттік қоспасы бар керамикалық шихта мүлде өзгеше құрылымға ие. Максималды температураға дейін қыздырғанда бұл шихта тек біртіндеп балқиды да, волластониттік иненің балқымаған қалдықтары алдыңғы көлемнің өзгеруіне ықпал ететін тығыз қарқасты тудырады. Көлемнің аз ғана шығыны шихтаның негізгі компоненті болатын сазбалшықты байланыстыратын уақыттың артуымен негізделген. Шихтаның келесі кристаллизациясы өнімді суытқан кезде инелерді өзара берік байланыстырады. Нәтижесінде пайда болған керамикалық бұйымша бағалы құрылым қатарына ие: біріншіден, пішінді жасар алда берілген өлшемді сол қалпында сақтайды, ал, екіншіден, уақ тесіктің көптігінен және бұйымның «торлық» құрылуынан, фарфор беріктігіне жақын төменгі беріктігіне қарамастан, сынбайды [1].

Волластониттің туған жері — Жезқазған–Балқаш–Алматы теміржол бойына жақын жерде орналасқан Қумолаға жақын жердегі Босағалық, Ақсорандық, Алайғырлық деген жерлер. Волластониттің есептелген қоры 153 млн. т, ол АҚШ-тың волластониттік қорынан жүз есе артық. Кендегі волластониттің шамасы 55–60 % құрайды. Волластонит — CaSiO_3 өте жоғары ақтылыққа ие, ол 99,5 % құрайды. Волластониттің 1 тоннасының құны 30 мың долларға бағаланады (жаңа бағалау бойынша) [2].

Волластониттің құрамының бірқатар құндылықтары бар және басқа минерал қоспалардан едәуір жоғары бағаланады. Оны әр түрлі полимерлі материалдарға енгізу оған көптеген ерекшеліктер береді. Пластмасса өндіретін өндірістерінде минерал термопластикалық резина, винильді едендер жасау үшін, сонымен қатар винильді пластисольдер дайындауда қолданылады. Волластонит эпоксидті шайыр және винильді пластисольдер дайындауда қолданылады. Эпоксидті шайыр дайындауға волластонит 50 %-ы толықтырғыш пигмент ретінде пайдаланылады. Пластик және басқа қоспалармен

қосылғанда қаптаған волластонит қоспалары су сіңіру қабілетінің және диэлектрлік тұрақтысының төмендігімен сипатталады. Сондай-ақ волластонит полимерлі қоспалардың барлығының құрамын жақсартады. Эластомер толықтырғышы ретінде өзінің жоғары жылу сақтағыштығымен, диэлектрлік көрсеткіштерінің төмендігімен ылғал сіңіргіштігімен, механикалық құрамының тұрақтылығымен бағасының төмендеуін қамтамасыз етеді [1].

Көптеген термопласттар өндірісінде — полипропилен, полистроль, поливинилхлорид, полиэтилен және т.б. минерал кеңінен қолданыла бастады. Волластонитті асбест және талькпен салыстырғанда оның күшті электрлік, механикалық және жылулық қасиеттерінің арқасында волластонит минералын көп мөлшерде қолдануға болатындығы анықталған. Полистирольға 30 % волластонит араластыруға болады. Бұл жағдайда зат ақшыл болып келеді, бұл үлкен салмақтың пайда болуына әкеледі. Осы қоспадан станоктардың бөлшек саймандарын және механизмдерін, қабырға плиталарын дайындауға болады. Минералды полистрольды шайыр қоспасына араластыру минералдың ағартқыштығының әсерінен боялуға, бояудың сапасын төмендетпей қымбат пигменттердің концентрациясын төмендетуге мүмкіндік береді. Бөліктердің өлшемі 1 мкм болатын, полихлорвинил және бөлетін материалдар қосылған волластониттің сулы ұнтағының температураға төзімділігінің мәні жоғарғы шегіне дейін көтерілуі анықталған.

Минерал эпоксидті шайыр герметикаға қосатын ең жақсы қоспа болып саналады. Волластонитті қағаз өндірісінде кеңінен қолданудың әдістері әлі табылған жоқ. Өте ұсақталған материал қағаз дайындауда қоспа ретінде қолдануға әбден болады.

«Құрылыскерамика ғылыми-зерттеу институты» (Алматы қ.) автоматтандырылған конвейер жолдарына қажетті плиталарды өндіру технологиясын жасап шығарды. Қоспаға волластонитті енгізу плиталарды тезірек күйдіруді, күйдіру температурасын 950–960 °С-қа дейін азайта отырып, төмендетуді және заттың сапасын жоғарлатуды ұйымдастыруға жол ашқан.

«Ташкенттің құрылысжоба ғылыми-зерттеу институты» түсті глазурь өндіруді, екі қабатты ақ кірпішті және архитектуралық, құрылыстық ансамбльге арналған өте мықты кірпіш өндіру технологиясын жасап шығарды. Глазурьдың құрамында: волластонит — 26, каолин — 4, кварц — 21, далалық шпат — 28, циркон 9 болады. Глазурьдің құрамы кезіндегі Қарағандының № 3 кірпіш зауытында зерттелді. Күйдіруден кейін кірпіш ашық-қоңыр түсті болып келді. 1100 °С-та күйдіріп пластикалық пішінделген және жанған қоспаның көмегімен алынған жеңіл салмақты керамикалық материалдың көлемді салмағы 960 кг/м³ құраған. Химиялық күйдіру әдісі бойынша газ қоспаларын қолдану арқылы көлемді салмағы 700-ден 950 кг/м-ге дейін болатын және жаншуға мықтылығы 0,50 кг/см-ге жуық болатын кеуекті материал алынған. Бұл материал жоғары температуралы (900 °С-қа дейін) агрегаттарды (қазандық, утилизаторлар, түтін құбырлары және т.б.) изоляциялау үшін динамитті және шамотты жеңіл салмақтылардың орнына, берік жеңіл салмақты ретінде, құрылымының және оқшаулы қабырға материалдарда (аспалы панель, плиталар), сонымен қатар ғимараттар интерьерлерін қалау үшін қолданылады.

Бұрынғы «Құрылысжоба институтының» зерттеулері бойынша, байытылмаған волластонит материалдарына формалы шихтаны енгізу кірпіштің физика-механикалық төзімділігінің шегі екі есеге дейін өседі (150-ден 275–300 кг/см²), отырғыштығы 8,5 тен 7,5 %-ке дейін қысқарады. Су сіңіргіштігі 12,8 ден 8,6–9,4 %-ке дейін төмендейді, аязға тұрақтылығы 50 циклден асады.

Алтын тапқан жерінде табылған байытылмаған волластонит кенін керамика өндірісінде қолдануға болатындығы қарастырылған. «Құрылысжоба институттың» тәжірибе зауытында 60 % волластонит кенінен және 40 % газдан тұратын көлемі 250×120×140 тең 14 тесікті керамикалық тастар жасалған. Тастарды туннель кептіргіштерінде кептіріп, пеште (горнах 1050 °С-та) 24 сағат бойы күйдірген. Зерттеу нәтижесінде тастардың отқа төзімділігінің шегі 270–285-ті құрайтыны, ал иілгіштігі 22–24 кг/см² болатыны анықталған. Тастардың аязға төзімділігін тексергенде 25 циклге шыдаған және сынақ жүргізгенде мықтылығы орташа шамамен алғанда 259 кг/см² тең екенін көрсеткен [2, 3].

Электрондық микроскоп JOEL қолданылуы жарықтылық микроскопты қолдануға қарағанда ұсақтау бетін зерттеу үшін кескіннің айқындалу тереңдігін және кескінді үлкейту (18-ден 300 мың есеге дейін) мүмкіндігін алуға болады. Яғни тәжірибе барысында волластонит минералының әр түрлі есе ұлғайтулардың микроқұрылымдарының автоматты түрде микрофотосуретін алуға болады. Тәжірибе JSM 5910 электрондық растрлық талдаушы микроскоп қондырғысында мына үлгілер үшін жасалынды: таблетка түрінде дайындалған волластонит және ұнтақталған волластонит. Құрылымның конфигурациясын және бейненің көлемдік суретін алуға және зерттеуге болады. Сол себептен волластониттің микроқұрылымдық суреттер мен элементер үлесінің кестесі мен сұлбасын алдық.

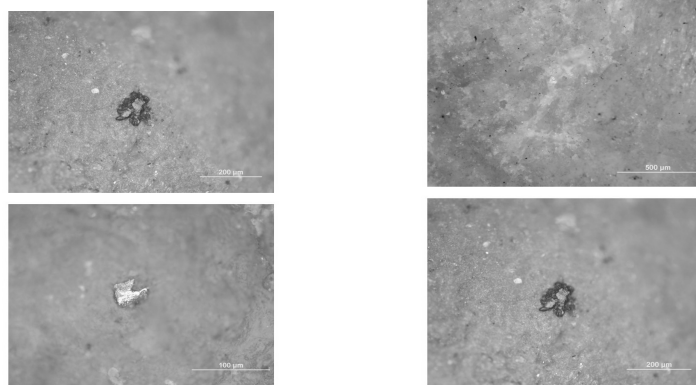
Төменде волластонит минералын LEICA DM IRM HC оптикалық микроскопта зерттеу арқылы алынған әр түрлі x үшін қаттылық өлшемдер нәтижелері кесте түрінде көрсетілген.

К е с т е

Волластониттің Викерс бойынша қаттылық өлшемі

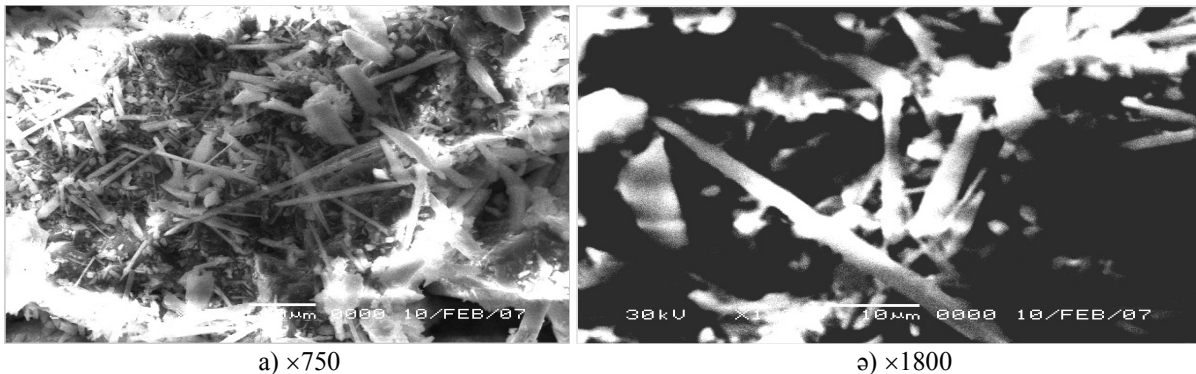
X есе	$F(H)$	d_1	d_2	d_{op}	$n(HV)$
100	1,4	14,8	15,14	14,97	1180,9
200	1,4	7,40	8,91	8,15	3981,4

Зерттеулер барысында волластонит минералының төменде көрсетілген $\times 100$, $\times 200$, $\times 500$ есе ұлғайған суретін алдық.



1-сурет. Волластонит минералының $\times 100$, $\times 200$, $\times 500$ есе ұлғайған суреттері

Төменде ұнтақталған волластонит үшін $\times 750$ (2 а, ә-сур.), таблетка түрінде дайындалған волластонит үшін $\times 270$, $\times 1000$, $\times 1500$ есе (2 а, ә, б-сур.) ұлғайтылған волластонит минералының микроинертті құрылымы мен оның суреттері көрсетілген.

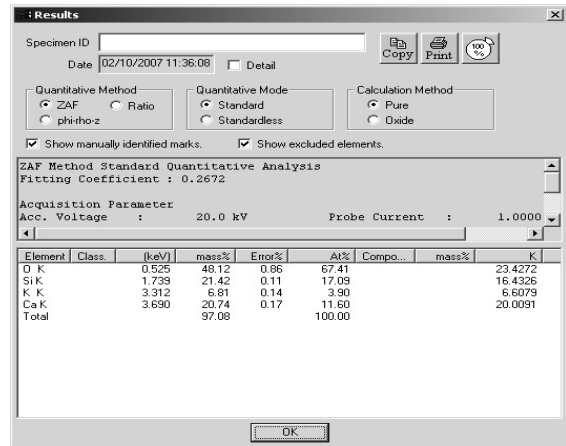
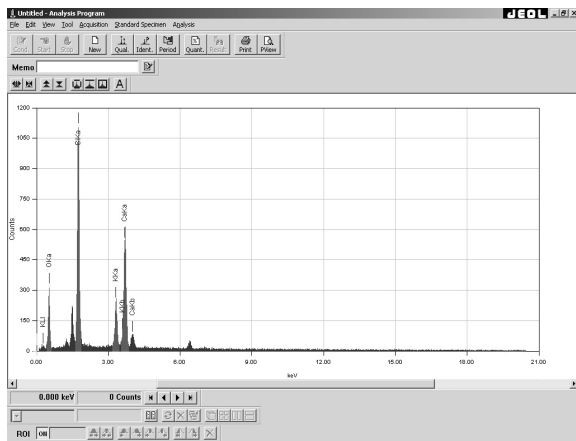


2-сурет. Ұнтақталған волластонит минералының микроинертті құрылымы, $\times 750$ және $\times 1800$

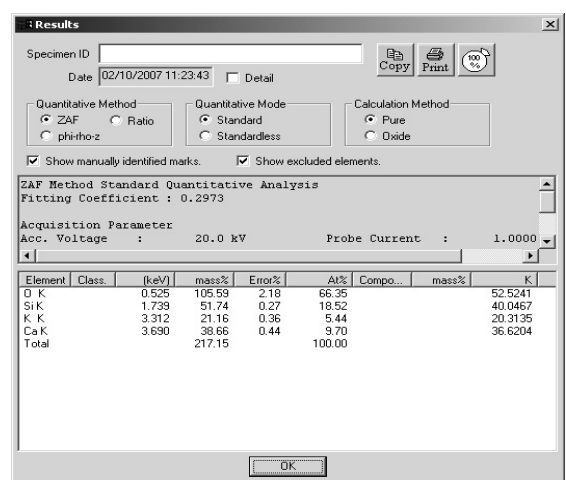
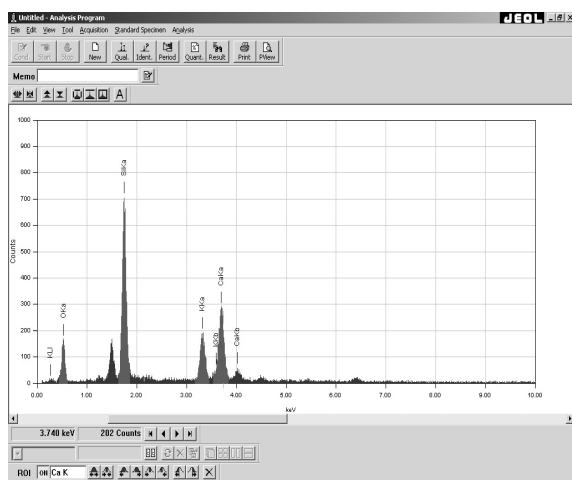
Бұл суреттен байқайтынымыздай, ұнтақталған волластонит минералының микроқұрылымдары әр түрлі қажетті материалдарға қосылған кезде ол материалдардың беріктілігін әрі мықтылығын сақтауға көп мүмкіндік береді.

Нәтижесінде ұнтақталған волластонит минералының $\times 750$, $\times 1800$ есе ұлғайтылған кездегі мынадай энергетикалық спектрі және элемент үлесі (3 а, ә-сур.) алынды.

3-суретте ұнтақталған волластонит минералының салыстырмалы масса түрінде берілген элементтер құрамы және осыған сәйкес келетін энергияның шамасы анықталған. Энергетикалық спектрден байқалатындай, ұнтақталған волластонит минералының құрамында кремний элементі мен кальций үлесі сәйкесінше (Si 21,04 %, Ca 20,24 %) басқа элементтер үлесіне қарағанда басым екені байқалады. Дәл осындай нәтижелер басқа массалық волластонит ұнтақтар үшін алынды [5].

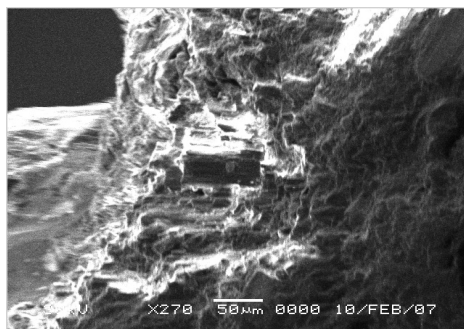


3а-сурет. Ұнтақталған волластонит минералының энергетикалық спектрі және элементтер үлесі, $\times 750$



3б-сурет. Ұнтақталған волластонит минералының энергетикалық спектрі және элементтер үлесі, $\times 1800$

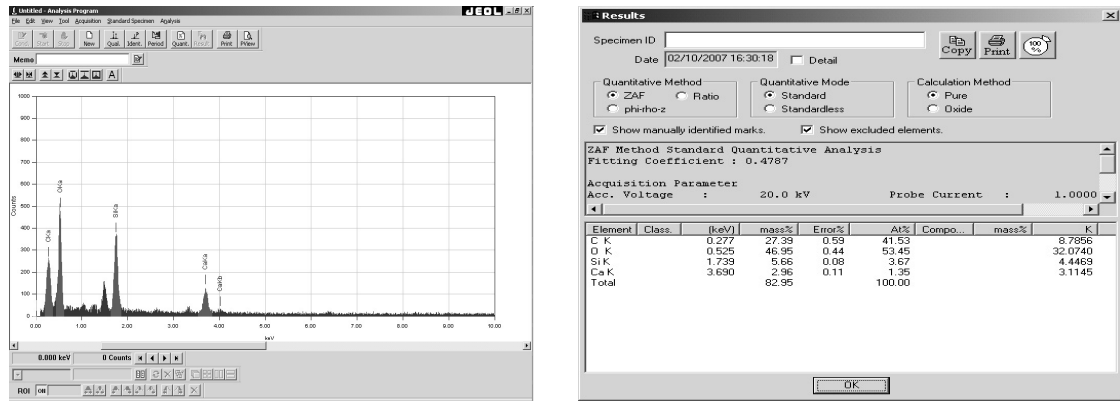
Төмендегі 4-суретте тәжірибеде кен орынынан алынған, арнайы таблетка түрінде жасалған волластонит минералының микроқұрылымдары әр түрлі ұлғайтуда зерттелді. 5-суреттен байқайтынымыздай, кремний мен кальций элементтерінің салыстырмалық массалық пайызы көміртегі элементінің салыстырмалық массалық пайызымен сәйкес келетіні байқалады. Бұл соңғы элементті жою үшін арнайы ұсақтау қондырғыларын қолданамыз [4; 5].



4-сурет. Таблетка түріндегі таза волластонит минералының микроқұрылымы, $\times 270$

Тәжірибе барысында таза волластониттан таблетка түрінде дайындалып алынған минералдың энергетикалық спектрі мен элементтер үлесі төмендегі нәтижелерге тең.

Бұл суреттерден байқайтынымыздай, ұнтақталған волластонит минералының микроқұрылымдары әр түрлі қажетті материалдарға қосылған кезде ол материалдардың беріктілігін әрі мықтылығын сақтауға көп мүмкіндік береді.



5-сурет. Таблетка түріндегі волластонит минералының энергетикалық спектрі және элементтер үлесі, $\times 270$

Волластонит минералының микроқұрылымдық қасиеттерін зерттеу нәтижесінде осы минералдарды қосымша өңдеу жұмыстарынсыз және жасанды материалдарды пайдаланбай-ақ өндіріс орындарында қолданып, айтарлықтай нәтиже алуға және қазіргі уақытта Қазақстанда құрылыстың қарқынды дамуына байланысты волластонит минералы қосылған құрылыстық материалдарды кеңінен пайдалануға болады. Осының барлығы Қазақстан Республикасында жоғары технологиялық өндіріс орындарын құруға үлкен мүмкіндік беретін жолдардың бірі болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Черноглазова Т.В. Волластонит и его применение в промышленности. — Алматы: АО «Алаш», 1999.
- 2 Хохолькова Л.А., Досалиев Е.Д., Лапкина Е.М. Использование волластонитовой руды Босагинского месторождения в строительной керамике. — Алматы: НИИСтромпроект, 1989. — 69 с.
- 3 Құсайынов К., Нусупбеков Б.Р. и др. Измельчение природного волластонита // Вестн. КарГУ. Сер. Физика. — 2009. — № 2(54).
- 4 Құсайынов К., Нусупбеков Б.Р. және т.б. Арнайы дайындалған волластонит минералының микроқұрылымын зерттеу // 10-шы Халықарал. ғыл. конф. материалдары // ҚарМУ. — Қарағанды, 2008. — 205–210-б.
- 5 Құсайынов К., Айтпаева З.К. және т.б. Ұнтақталған волластонит минералының микроқұрылымын зерттеу // Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана: Тр. междунар. науч.-практ. конф. // КарГТУ. — Караганда, 2007. — С. 446–450.

К.К.Саденова

Анализ микроструктурных характеристик природных минералов

Развитие промышленности, а также повышение энергетической безопасности Казахстана в значительной степени зависят от широкого и эффективного использования природных ресурсов. Большая часть регионов страны располагает огромными запасами промышленных минералов. В данной работе приведены результаты исследования микроструктуры природных минералов, обработанных электрогидравлическим эффектом. Исследования микроструктуры природных минералов проводились на сканирующем (растровом) электронном микроскопе JSM 5910. Данный микроскоп применяется для исследования поверхностей разрушения и позволяет получать увеличение и глубину резкости изображения намного больше (от 18 до 300 тысяч крат), чем при использовании световых микроскопов.

К.К.Sadenova

Assay microstructure characteristics of natural minerals

Gravities industry, as well as improve energy security in Kazakhstan is largely dependent on extensive and effective use of natural resources. Most regions of the country have huge reserves of industrial minerals. This paper presents the results of a study of the microstructure of natural minerals, processed electro effect. Investigations of the microstructure of natural minerals were carried out at scanning (scanning) electron microscope JSM 5910. This microscope is used to study fracture surfaces and produces increased and the depth of sharpness of the image is much more (from 18 to 300 thousand times) than when using a light microscope.

К.Кусаиынов, С.Е.Сакипова, З.К.Айтпаева, Д.А.Оспанова, М.С.Дуйсенбаева

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

Особенности структуры накипных отложений на поверхностях теплообменных аппаратов

В работе рассмотрены эволюция роста, структура, теплофизические свойства различных накипных отложений, образованных на поверхностях теплообменных аппаратов в различных условиях. Актуальность работы обоснована необходимостью разработки эффективных способов удаления твердых накипных отложений на теплообменных поверхностях. Исследования микроструктуры отложений, образовавшихся на внутренней поверхности труб теплообменников, использующих в качестве теплоносителя воду из водозабора города Караганды, показали, что они в основном имеют структуру комкового типа. Отмечено, что образующиеся в структуре отложений пустоты заполнены водой, а также растворенными в воде газами и водяным паром. Показано, что состав накипных отложений можно считать трехкомпонентным: карбонаты, вода и парогазовая смесь.

Ключевые слова: теплофизические свойства, накипь, эволюция роста, теплообменные поверхности, микроструктура, комковый тип, водозабор.

Структурообразование накипных отложений. Согласно современным представлениям накипь и шлам образуются в результате физико-химических процессов, из которых основным является процесс кристаллизации, характеризующийся выделением твердой фазы из многокомпонентных солевых растворов. Выделение твердой фазы из раствора солей при его нагревании и кипячении может происходить различными путями [1–2]. В работе рассматриваются эволюция роста, структура, теплофизические свойства различных накипных отложений, полученных при разных условиях. Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки эффективных способов удаления твердых накипных отложений на теплообменных поверхностях.

При длительной эксплуатации на внутренних поверхностях теплообменного оборудования образуются накипные отложения, которые вызывают ухудшение теплопередачи и связанное с ним увеличение пережога топлива; кроме того, при большой толщине накипи происходит также нарушение циркуляции воды. Различные примеси, содержащиеся в нагреваемой и испаряемой воде, как правило, образуют твердую фазу на внутренних поверхностях парогенераторов, испарителей, подогревателей и конденсаторов паровых турбин в виде накипи, а внутри водяной массы — в виде взвешенного шлама [3, 4]. Провести четкую границу между накипью и шламом нельзя, так как вещества, отлагающиеся на поверхности нагрева в форме накипи, могут с течением времени превращаться в шлам и, наоборот, шлам при некоторых условиях может прикипать к поверхностям нагрева, образуя накипь. Из элементов парогенератора загрязнению внутренних поверхностей больше всего подвержены обогреваемые экранные трубы.

Образование отложений на внутренних поверхностях парообразующих труб влечет ухудшение теплопередачи и, как следствие, перегрев и повреждение металла, сопровождающееся появлением трещин и разрывом труб. Наряду с рыхлыми пористыми отложениями, подобными пемзе, встречаются отложения, которые по твердости и прочности связи с металлом напоминают эмаль [3].

Различные примеси, содержащиеся в нагреваемой и испаряемой воде, могут выделяться в твердую фазу на внутренних поверхностях парогенераторов, испарителей, паропреобразователей, подогревателей и конденсаторов паровых турбин в виде накипи, а внутри водяной массы — в виде взвешенного шлама. Шлам при некоторых условиях может прикипать к поверхности нагрева, образуя накипь. Эти отложения на поверхностях нагрева бывают весьма разнообразными по химическому составу, структуре, плотности и коэффициенту теплопроводности. На рисунке 1 изображено накипное отложение на поверхности теплообменных труб.

Образующиеся в парогенераторах отложения могут быть по своему химическому составу подразделены на три основные группы:

1) щелочноземельные, в группу входят кальциевые и магниевые накипи (карбонатные, сульфатные, силикатные, фосфатные), в составе которых преобладают (до 90 %) CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 , $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$;

2) железные, в группу входят железистоокисные Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , железистосиликатные $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, NaFePO_4 и железосиликатные $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ накипи;

3) медные, в группу входят отложения металлической меди и окислы меди CuO , Cu_2O [3].

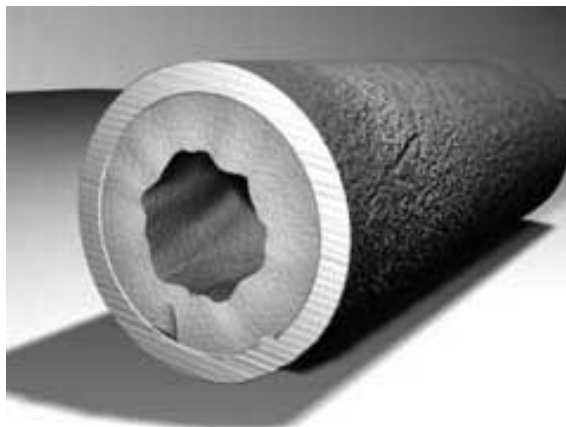


Рисунок 1. Накипные отложения на поверхностях теплообменных труб

На внутренней поверхности экранных труб в зонах наибольших температур, с высокими местными тепловыми нагрузками, откладываются в основном железистоокисные накипи. Согласно современным представлениям накипь и шлам образуются в результате физико-химических процессов, из которых основным является процесс кристаллизации, характеризующийся выделением твердой фазы из многокомпонентных растворов. Сначала на отдельных участках поверхности металла отлагаются первичные зародышевые кристаллы, которые затем укрупняются и разрастаются. Образование на поверхности металла первичных кристаллов накипи, являющихся связующим звеном между металлической стенкой и слоем твердых отложений, обуславливается наличием шероховатости. Многочисленные бугорки на поверхности представляют собой центры кристаллизации твердой фазы, поверхность нагрева покрывается как бы цементирующей прослойкой. Кинетика роста накипных отложений зависит от вида теплоносителя, характера его движения, материала и рельефности поверхности, условий теплообмена через стенку, но при этом образование слоя накипи всегда начинается с локальных центров кристаллизации. Вероятно, это связано с особенностями образования новой фазы, так как по различным химико-механическим причинам не все частицы из раствора, достигшие поверхности, способны закрепиться на ней. Могут быть участки поверхности с преобладанием сил отталкивания. Дисперсные частички при достижении поверхности могут не закрепиться на ней, при ударе частице передается энергия, которой не хватает для изменения положения частиц на поверхности.

Методика и результаты исследований. Изучение структуры накипных отложений, образованных на теплообменных поверхностях, проводилось с помощью растрового электронного микроскопа Tescan Vega II (рис. 2). Увеличивающие возможности микроскопа составляют от 1 до 10^6 раз. Сканирование проводилось в свете вторичных (SE) и отраженных (BSE) электронов, а также при высоких напряжениях до 20 кВ. Полуколичественный химический состав определялся с помощью энергодисперсионного анализатора INCA. Размер зонда (размер пучка электронов) при сканировании составлял 96,0 нм [1–2].

На растровом электронном микроскопе изучалось два вида накипи:

- отложения, полученные из городской воды, — естественные;
- отложения, полученные в лаборатории «Водоподготовки», — искусственные.

На рисунке 3 показаны фотографии отложений, полученных из городской воды.

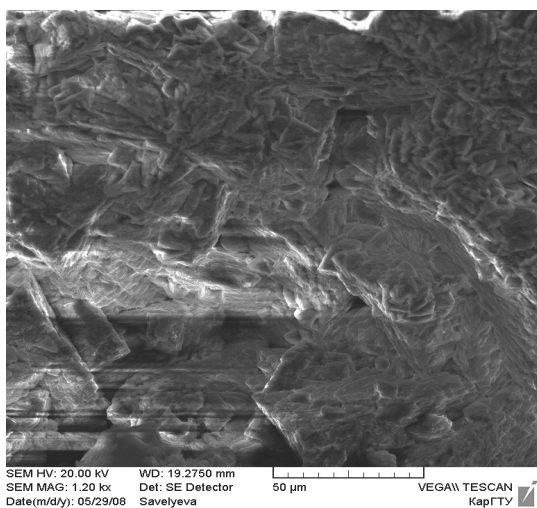
На рисунке 4 и в таблице 1 представлены результаты спектрально-полуколичественного анализа отложений при увеличении в 2560 раз. Сканирование проводилось в свете отраженных электронов [1].

На рисунке 5 представлены изображения отложений, полученных в городской воде. При малом увеличении (рис. 5 а) можно убедиться, что структура отложений имеет комковую структуру, а при увеличении в 360 и более раз (рис. 5 б) видно то, что комковая структура постепенно переходит в кристаллическую, в итоге образуется смешанная структура накипи.

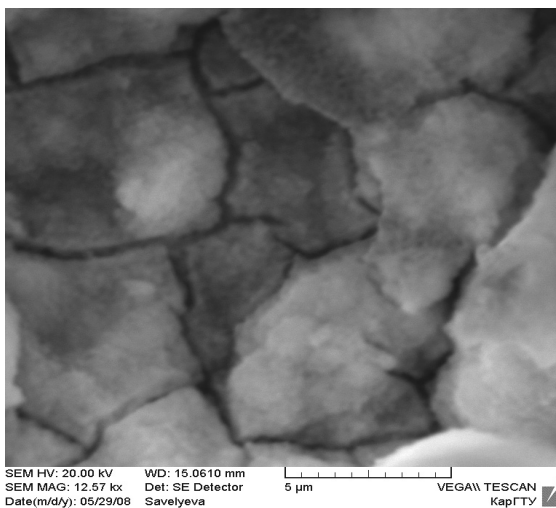
На рисунке 5 и в таблице 2 показаны результаты спектрально-полуколичественного анализа твердых накипных отложений при увеличении в 176 раз.



Рисунок 2. Общий вид растрового электронного микроскопа

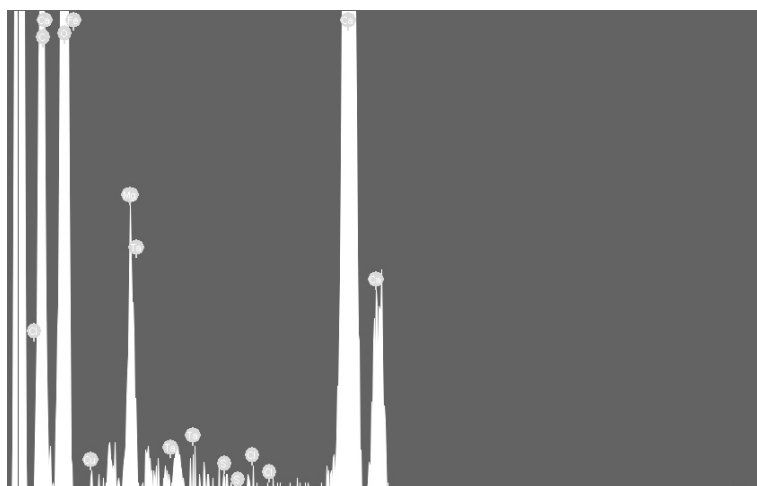


a — полученные в городской воде;



б — полученные в лаборатории

Рисунок 3. Фотоизображения отложений



Полуколичественный химический состав отложения при увеличении в 2560 раз

Химический элемент	Элементное количество, %
C	10,13±1,96
O	45,65±1,41
Na	4,32±0,54
Mg	15,41±0,62
Si	1,07±0,16
S	4,25±0,29
Cl	6,17±0,35
Ca	3,98±0,24
Cu	5,35±0,62
Zn	3,68±0,63
U	-0,01±0,49
Итого	100,00

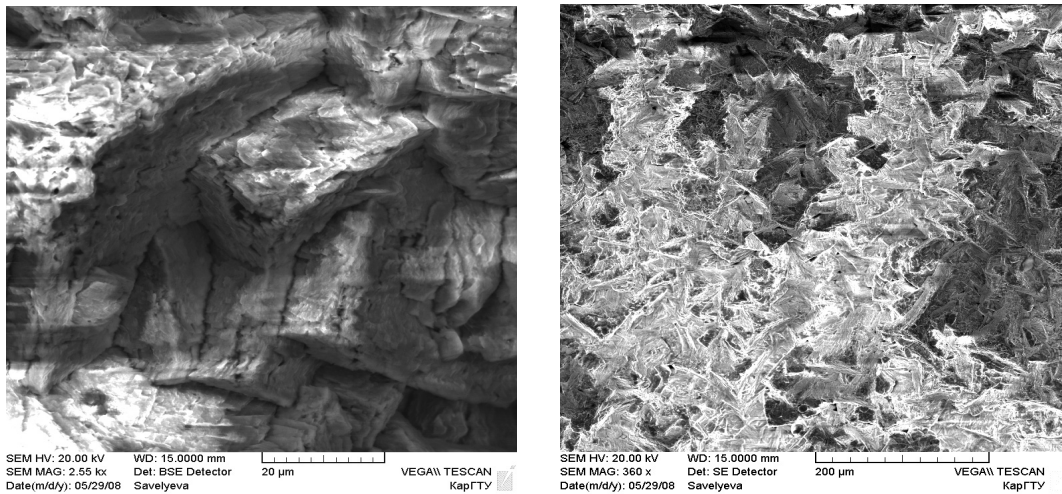


Рисунок 5. Фотоизображения отложений, полученных при различных увеличениях

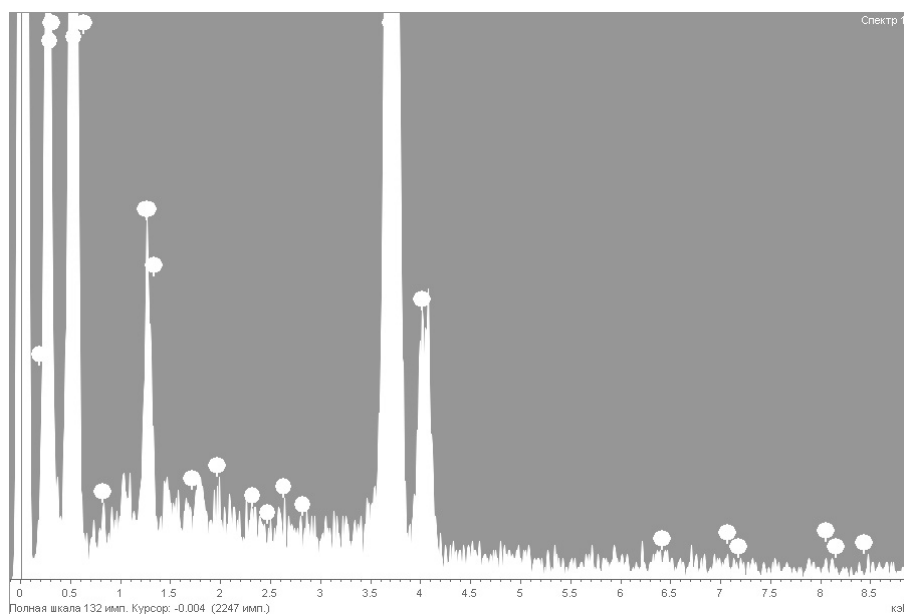


Рисунок 6. Спектрально-полуколичественный анализ отложений, полученных в лаборатории «Водоподготовки» при увеличении в 176 раз

Изображения, представленные на рисунках, получены в результате проведенного анализа в свете сканирования вторичных электронов. Анализируя эти снимки, можно обнаружить, что при малом увеличении поверхность отложений имеет гладкую форму, а при увеличении в 10 000 раз и более структура накипи растрескивается, образуя тем самым кристаллическую структуру [2].

Если сравнить результаты полуколичественного химического составов отложений, полученных в разных условиях, т.е. отложений, полученных в городской воде и в лаборатории, можем убедиться, что в обоих случаях в состав накипи входит углерод, кислород, кальций, но отличает эти отложения то, что в городской воде не присутствует хлор, а в лабораторной, кроме хлора, присутствует еще магний, и в достаточно большом количестве.

Т а б л и ц а 2

Полуколичественный химический состав отложения при увеличении в 176 раз

Химический элемент	Элементное количество, %
C	24,65±1,25
O	56,93±1,24
Mg	2,38±0,23
S	0,14±0,10
Cl	0,00±0,11
Ca	15,38±0,46
Fe	0,40±0,20
Cu	0,10±0,27
Ta	0,01±0,36
Итого	100,00

При исследовании состава отложений были выявлены химические составы накипи образующихся на поверхности нагрева и фотоизображения накипных отложений, полученных из разных районов города; получены результаты полуколичественного химического состава отложения при различных увеличениях.

Таким образом, исследования микроструктуры отложений, образовавшихся на внутренней поверхности труб теплообменников, использующих в качестве теплоносителя воду из водозабора города Караганды, показали, что для них характерна структура комкового типа [5]. Отложения как бы состоят из чередующихся комков и пор, кристаллы комков имеют в основном ромбовидную форму. Образующиеся в структуре отложений пустоты заполнены водой, а также растворенными в воде газами и водяным паром. Состав накипных отложений можно считать трехкомпонентным: карбонаты, вода и парогазовая смесь. Коэффициент теплопроводности накипи меняется в пределах $1,06 \div 1,22$ Вт/(м·К), с ростом температуры ее теплопроводность увеличивается, но теплопроводные свойства воды и воздуха в порах значительно хуже, чем накипи и металла.

Список литературы

- 1 Кусаиынов К., Сакипова С.Е., Бакенов Н. Эволюция структурообразования накипи на теплообменных поверхностях // Прикладная синергетика в нанотехнологиях: Сб. тр. 5-го междунар. междисциплинарного симпозиума ФиПС-08. — М.: МАТИ, 2008. — С. 191–195.
- 2 Бакенов Н.Т. Закономерности накипеобразования и удаление их в системах теплоснабжения // Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана: Тр. междунар. науч.-практ. конф. / КарГТУ. — Караганда: Изд-во КарГТУ, 2007. — С. 472–474.
- 3 Бубликов И.А. Структурные особенности и теплофизические свойства внутритрубных отложений на теплообменных поверхностях в системах технической воды // Теплоэнергетика. — 1998. — № 2. — С. 30–34.
- 4 Манькина Н.Н., Кокотов Б.Л. К вопросу о механизме накипеобразования // Теплоэнергетика. — 1973. — № 9. — С. 15–17.
- 5 Сакипова С.Е. Исследование структуры накипных отложений на теплообменных поверхностях и технология их разрушения // Вестн. КарГУ. Сер. Физика. — Караганда: Изд-во КарГУ, 2009. — № 1(53). — С. 66–71.

Қ.Құсайынов, С.Е.Сақыпова, З.К.Айтпаева, Д.А.Оспанова, М.С.Дүйсенбаева

Жылуалмасу аппараттар бетіндегі қақтар құрылымының ерекшеліктері

Мақалада жылуалмастыру қондырғылардың бетінде пайда болатын қақ шөгінділерінің дамуы қарастырылған. Қақ шөгінділері ЖЭС мен АЭС пайдаланатын жылуалмастырғыш аппараттарында көп кездеседі. Қақ шөгінділерінің түзілуі жылуалмастырғыш қондырғыларының жылу беру пәрменділігін төмендетеді. Сондықтан жылу энергетика және жылу техника саларында қолданатын қондырғылардағы қақ шөгінділерін жоюдың тиімді жолдарын қарастыру үшін олардың құрылымы мен химиялық құрамы анықталды. Тәжірибелік зерттеу кезінде әр түрлі жағдайда пайда болған қақ шөгінділері қарастырылды. Біріншісі қалалық судан пайда болатын қақ шөгінділері, екіншісі ҚарМУ-дағы «Судайындау» зертханасынан алынған қақ шөгіндісі. Екі жағдайдағы қақ шөгінділерін расторлық электрондық микроскоп көмегімен бірнеше есе үлкейте отырып, олардың құрылымы тұтас түйір түрінде болатынын байқадық. Ал екі жағдайда пайда болатын қақ шөгінділер құрамында оттегінің, көміртегінің және кальцийдің көп мөлшерде болатынын анықталды. Екі жағдайда алынған қақ шөгінділерін салыстыратын болсақ, «Судайындау» зертханасындағы қақ шөгіндіде хлормен қатар көп мөлшерде магний кездеседі. Қалалық судан алынған қақ шөгіндісінде хлор кездеспейді. Зерттеу нәтижелерін қорытындылай келе, жылуэнергетикалық қондырғыларда пайда болатын қақ шөгінділерін жоюдың қолайлы әдістерін анықтауға мүмкіндік беріп туып отыр.

K.Kusaiynov, S.E.Sakipova, Z.K.Aytpaeva, D.A.Ospanov, M.S.Duysenbaeva

Features of the structure of scum-like deposits on the surfaces of heat exchangers

We consider the evolution of growth, structure, thermal properties of various scum-like deposits formed on poverzhnostyah heat exchangers in various conditions. The urgency of the necessity of developing effective ways of disposing of solid scum-like deposits on heat transfer surfaces. Investigations of the microstructure of deposits formed on the inner surface of pipes of heat exchangers, using as a coolant water from the water intake of the city of Karaganda, show that oniv basically have the structure Komkova type. Formed in the structure of deposits voids filled with water, and dissolved in water, gas and water vapor. Composition of scum-like deposits can be regarded as three-way: carbonates, water and steam-gas mixture.

УДК 621.181; 621.548

К.Кусаиынов, С.Е.Сакипова, Б.Р.Нусупбеков, А.К.Хасенов

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова***Создание действующей лабораторной модели ветродвигателя на основе эффекта Магнуса**

В работе исследована лабораторная модель ветровой турбины, работающей на основе эффекта Магнуса. Отмечено: новизна предлагаемой модели заключается в том, что элементы ротора выполнены в виде вращающихся цилиндрических элементов переменного сечения, которые позволяют использовать возникающую при вращении лопастей в потоке за счет эффекта Магнуса дополнительную силу. Приведены результаты экспериментального испытания двух моделей элементов при разных скоростях воздушного потока. Получены данные о зависимости величины подъемной силы от частоты вращения цилиндрических элементов с различной поверхностью. Приведено описание некоторых особенностей ветровых турбин. Даны основные характеристики и устройство установки. Обосновано практическое значение использования энергии ветра для развития электроэнергетики.

Ключевые слова: эффект Магнуса, ветродвигатель, модель, лабораторная установка, электроэнергия.

Необходимость развития альтернативных источников энергии для Казахстана отмечена в разработанной по поручению Президента страны Национальной Программе развития ветроэнергетики Республики Казахстан на 2007–2015 гг. Данная программа подготовлена в рамках совместного проекта Министерства энергетики и минеральных ресурсов РК и Программы развития ООН «Казахстан — инициатива развития рынка ветроэнергии». На внеочередном XII съезде партии «Нұр Отан» 15 мая 2009 г. Президентом Н.Назарбаевым сформулированы основные аспекты «важности развития нетрадиционных источников энергии за счет использования силы ветра и солнечного света». Действительно, на большей части республики расположены зоны с низкими значениями среднегодовых скоростей ветра, для которых пока нет промышленных ветродвигателей малой и средней мощности, а использование выпускаемых экономически невыгодно. С другой стороны, развитие сельской ветроэнергетики направлено на улучшение доступа к электроэнергии удаленных сельских населенных пунктов. В районах, где централизованное электроснабжение отсутствует или экономически нерентабельно, поддержка использования ветроустановок для автономного энергоснабжения отдельных сельских потребителей (фермы, крестьянские хозяйства) будет осуществляться через региональные программы поддержки сельскохозяйственного производства с созданием фондов для оказания финансовой помощи* [1, 2]. Все это обуславливает актуальность создания ветродвигателей малой и средней мощности, рассчитанных для работы при низких скоростях ветра, и в то же время, выдерживающих напор штормовых ураганов.

В плане решения указанной технической задачи в лаборатории Гидродинамики и теплообмена создана действующая модель ветроэлектрической установки нового типа. Такая установка может эффективно работать в условиях низких среднегодовых скоростей ветра, что весьма актуально. Новизной предлагаемого ветродвигателя является то, что элемент ротора выполнен в виде вращающихся цилиндрических элементов переменного сечения, что позволяет использовать возникающую при вращении в потоке дополнительную движущую силу за счет эффекта Магнуса. Использование переменного сечения и нелинейного, выпуклого профиля поверхности вращающихся цилиндрических

* Национальная программа развития ветроэнергетики до 2015 года с перспективой до 2024 года; План развития электроэнергетической отрасли РК. Министерство энергетики и минеральных ресурсов РК. 2007 год.

элементов позволяет обеспечить их плавное, безвихревое обтекание и уменьшить аэродинамическое сопротивление ротора при достаточно больших скоростях набегающего воздушного потока.

Цилиндрическое тело классически является неотъемлемым элементом практически всех аэрогидродинамических аппаратов и теплообменных устройств. Особый интерес представляют особенности аэродинамики при поперечном обтекании и одновременном вращении цилиндра вокруг своей оси. В монографии [1] приведено описание использования вращения поперечно обтекаемого цилиндра как способа устранения разности между скоростью внешнего потока и скоростью стенки с целью предотвращения образования и отрыва пограничного слоя. На верхней стороне цилиндра, где течение жидкости и вращение стенки направлены в одну и ту же сторону, отрыв пограничного слоя полностью отсутствует. На нижней стороне, где течение жидкости и вращение стенки направлены в противоположные стороны, отрыв почти не возникает [2].

Линии тока подтверждают появление большой поперечной силы, направленной вверх, что связано с явлением, известным под названием эффекта Магнуса. Для тел иной формы осуществить движение обтекаемой стенки технически очень трудно, в связи с чем этот способ управления пограничным слоем почти не нашел практического применения. Современный уровень развития техники и высоких технологий позволяет использовать вращающийся цилиндр в качестве специального элемента аэродинамических аппаратов для создания большой подъемной силы, направленной поперек направления обтекаемого потока.

Исследование законов воздействия воздуха на движущиеся в нем тела возможно двумя методами: сообщением телу некоторой скорости относительно неподвижного воздуха или сообщением воздуху некоторой скорости по отношению к неподвижно укрепленному телу.

Большинство задач экспериментальной аэродинамики связано с изучением движения тел относительно неподвижного воздуха или жидкости. Однако данное явление можно обратить и исследовать движение воздуха или жидкости относительно неподвижного тела. Результаты такого рода исследований, при желательном соблюдении условий обращения движений (при исключении из опытов дополнительных явлений, связанных с границами потоков), дают полное соблюдение законов обтекания тел при прямом и обращенном движении.

Натурные испытания позволяют в опытах выдержать полное динамическое подобие. Но их главный недостаток состоит в том, что помимо дороговизны и сложности, натурные исследования технически затруднены. Во многих случаях совершенно невозможно проведение исследований многочисленных вариантов аппарата, выявление взаимного влияния отдельных его элементов, например, крыла и оперения или винта и фюзеляжа. Поэтому аэромеханические испытания в натуре дополняют и завершают испытания в аэродинамических трубах.

Первоначальные сведения о величине скорости естественного ветра, приводимые в литературных источниках по Карагандинской области, $U = 4,2$ м/с, на самом деле оказались отличными от действительности [3–6]. По данным ближайшей к университетскому городку метеостанции, расположенной в районе аэропорта г. Караганды, среднемесячная скорость ветра за декабрь месяц составляет 3 м/с, что существенно меньше. В сложившейся ситуации, когда скорости ветра малы ($\approx 2,5$ – $3,0$ м/с), никакие разработанные ветродвигатели и ветротурбины не могут работать эффективно, с достаточно высокой энергоотдачей, так как они начинают работать более-менее эффективно при скорости ветра ≈ 5 м/с и выше. С увеличением скорости ветра эффективность работы ветродвигателей резко возрастает.

Для исследования возможности использования вращающегося цилиндрического ротора в конструкции ветродвигателя в лабораторных условиях изготовлена модель, которая имеет два элемента с противоположным вращением (рис. 1). Причем для стабилизации вращения оба элемента имеют одинаковые конструкции, вес и размеры. Диаметр модели цилиндрического ротора можно изменять с помощью применения наращивающих элементов. При этом для изменения шероховатости поверхности используются листы наждачной бумаги с различной зернистостью. Вращение осуществляется электромоторами, питающимися от сети постоянного тока с регулируемым напряжением. Изменяя напряжение, можно изменить частоту вращения элементов. Для выработки электроэнергии установлен микрогенератор, к нему подключена контрольная лампа с напряжением 3,5 В и мощностью 5 Вт. Воздушный поток в рабочей части аэродинамической трубы достаточно равномерен по всему сечению.

Геометрические размеры цилиндрических элементов следующие:

1-я конструкция $d = 5$ см;

2-я конструкция $d = 10$ см;

3-я конструкция $d = 15$ см.

Регулируемый диапазон изменения скорости вращения цилиндров был порядка 300–1500 оборотов в минуту. Измерение оборотов вращающихся цилиндров проводились цифровым тахометром марки ТЦ-3М с фотоэлектрическим датчиком ДФ-1. Модель ветродвигателя с двумя вращающимися элементами была установлена в рабочей части аэродинамической трубы Т-1-М на аэродинамических весах с помощью тонких металлических растяжек для уменьшения сопротивления вспомогательных элементов.

Трехкомпонентные аэродинамические веса с достаточно высокой степенью точности позволяют измерять подъемную силу и силу лобового сопротивления. Скорость потока в рабочей части аэродинамической трубы изменялась плавно. Средняя погрешность измерения подъемной силы и силы лобового сопротивления составляет 5 %.

Лабораторные исследования проведены на модели из двух элементов ветротурбины специальной конструкции, работающих при малых скоростях естественного ветра. Фотография закрепленного к раме ветродвигателя представлена на рисунке 2.

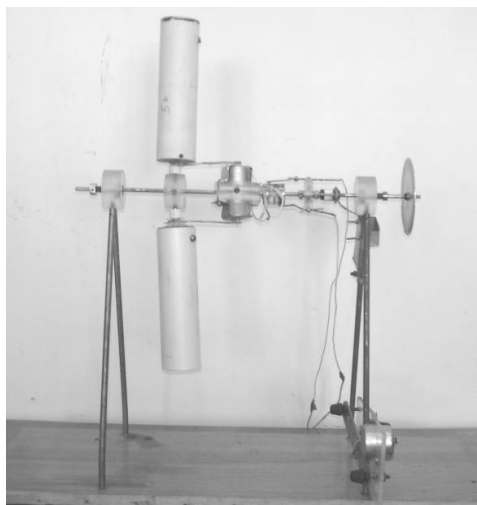


Рисунок 1. Лабораторная модель ветродвигателя

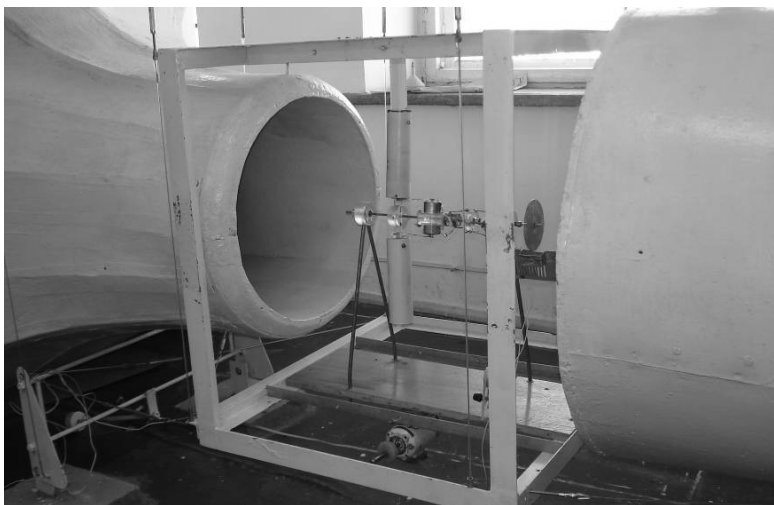


Рисунок 2. Модель ветродвигателя с двумя вращающимися элементами, расположенная в рабочей части аэродинамической трубы

В настоящее время проведены опыты с первыми вариантами модели трех конструкций с элементами указанных диаметров. Результаты опытов подтверждают возможность использования вращающихся цилиндров в конструкции ветродвигателя, так как модель начинает работать при скорости 3 м/с и работает эффективно при скоростях ветра от 8 м/с до 12 м/с. Для уменьшения сил трения, устранения «качения» и «заедания» осей установлены подшипники.

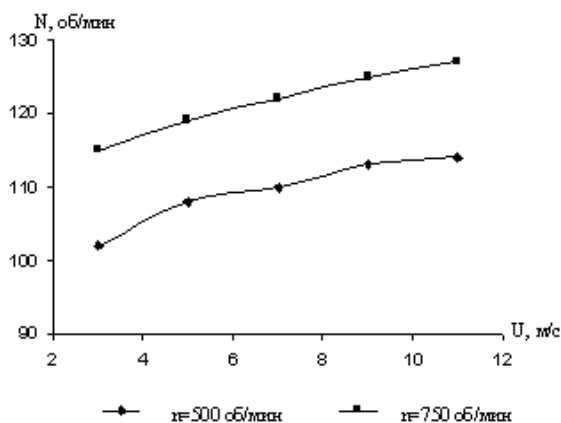


Рисунок 3. Зависимость количества оборотов лопастей ветродвигателя от скорости ветра

Экспериментальные результаты по определению количества оборотов лопастей и вращающегося цилиндра в минуту представлены на рисунках 3 и 4. экспериментальные зависимости получены для диапазона изменения скоростей потока от 3 м/с до 11 м/с. Как видно из графиков, с увеличением скорости потока ветра и частоты вращения вращающихся цилиндров количество оборотов лопастей ветродвигателя возрастает и достигает своего максимального значения. Используя полученные результаты по скорости вращающихся цилиндров, можно регулировать количество оборотов лопастей ветродвигателя.

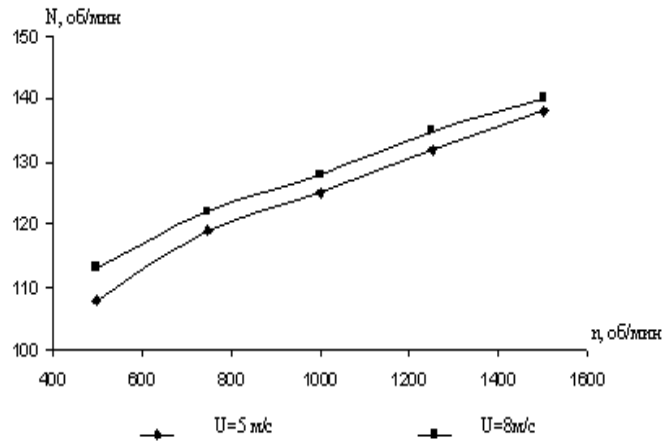
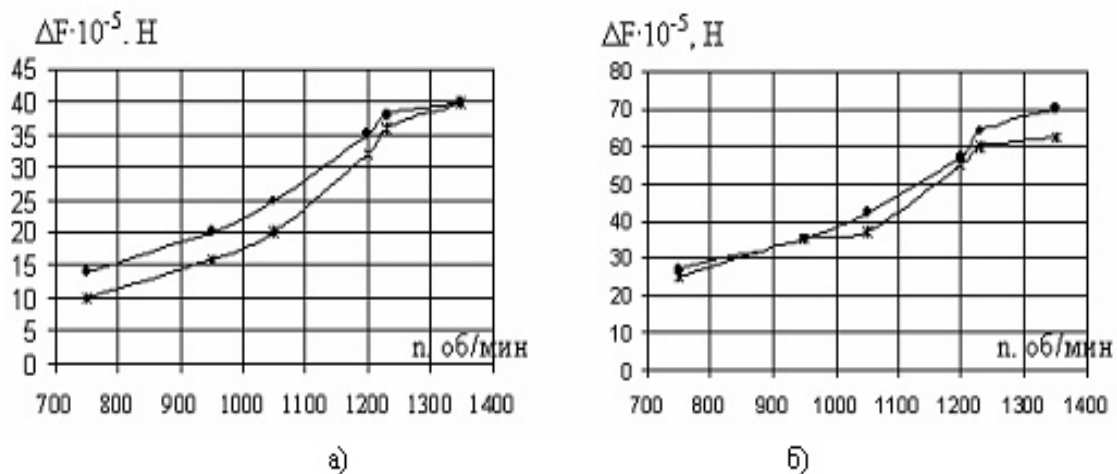


Рисунок 4. Зависимость количества оборотов лопастей ветродвигателя от скорости вращения цилиндров

На рисунке 5 приведены результаты экспериментального исследования аэродинамических характеристик вращающегося цилиндрического элемента ветротурбины.

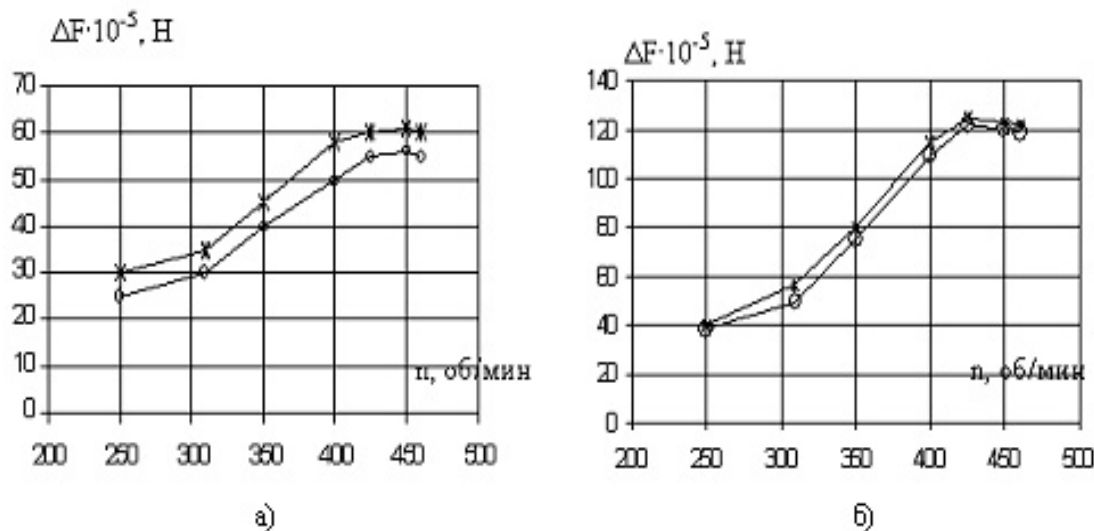


$d = 50$ мм; $U =$ а — 8 м/с; б — 12 м/с; * — вращение по потоку; O — вращение против потока

Рисунок 5. Зависимость подъемной силы от частоты и направления вращения цилиндра с гладкой поверхностью в потоке

Опытные зависимости подъемной силы для цилиндров с гладкой и шероховатой поверхностью при скоростях $U = 8$ м/с и 12 м/с представлены на рисунке 6. Из графиков видно, что с увеличением скорости вращения цилиндра подъемная сила возрастает и достигает своего максимума при скорости вращения $n \approx 1300$ об/мин.

Данные, полученные при вращении цилиндра по потоку и против потока, качественно повторяют друг друга, некоторые отличия имеются только в числовых данных. Аналогичная картина наблюдается при обтекании вращающегося цилиндра с шероховатой поверхностью, с ростом скорости потока увеличивается подъемная сила.



$d = 50$ мм; $U =$: а — 8 м/с; б — 18 м/с; * — вращение по потоку; О — вращение против потока

Рисунок 6. Зависимость подъемной силы от частоты и направления вращения цилиндра с шероховатой поверхностью в потоке

Наличие зернистой шероховатости приводит к увеличению подъемной силы на 30 %. С ростом диаметра цилиндра подъемная сила увеличивается. К примеру, при скорости потока 18 м/с рост диаметра от 50 до 150 мм приводит к увеличению подъемной силы более чем в 2,5 раза. Но величина подъемной силы возрастает только до определенного значения скорости вращения цилиндра, при дальнейшем увеличении частоты вращения возрастания не наблюдается.

Таким образом, проведенные испытания подъемной силы при поперечном обтекании вращающегося цилиндра при скоростях набегающего потока от 5 м/с до 18 м/с и угловых скоростях вращения цилиндра от 300 об/мин до 1300 об/мин показывают удовлетворительное согласие с расчетными данными.

Список литературы

- 1 Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 200 с.
- 2 Исатаев С.И., Акылбаев Ж.С., Турмухамбетов А.Ж. Аэрогидродинамика и теплообмен криволинейных тел. — Алматы: Ғылым, 1996. — 437 с.
- 3 Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.: Наука, 1974. — 712 с.
- 4 Бычков Н.М. Ветродвижитель с эффектом Магнуса. 1. Результаты модельных исследований // Теплофизика и аэромеханика. — 2004. — Т. 11. — № 4. — С. 583–596.
- 5 Kusaiynov K., Sakipova S.E. Aerodynamics of the cylinder in a cross flow // Eurasian Physical Technical Journal. — 2004. — Vol. 4. — № 1. — P. 71–75.
- 6 Kusaiynov K., Sakipova S.E., Nikitina L.A. Aerodynamics of the transversally streamlined rotated barrel // Methods of aerophysical research: Materials of 12th international conference. ICMAR-2004. — Novosibirsk, 2004. — Vol. 4. — P. 195–198.

Қ.Құсайынов, С.Е.Сақыпова, Б.Р.Нүсіпбеков, А.К.Хасенов

Магнус эффектісіне негізделген желқозғалтқыштың зертханалық моделін құру

Мақалада Магнус эффектісіне негізделген желқозғалтқыштың зертханалық моделі жасалып, зерттелген. Ұсынылып отырған модельдің жаңашылдығы — ротор элементінің айналмалы цилиндр түрінде жасалуында. Ауа ағынының әр түрлі жылдамдықтарында екі лопасти модельдің тәжірибелік зерттеулерінің нәтижелері келтірілген. Бұл ағында лопастан айналуы кезінде Магнус эффектісі есебінен пайда болатын қосымша күшті қолдануға мүмкіндік туады. Қондырғының сипаттамасы мен құрылымы қарастырылған. Желқозғалтқыш моделінің ерекшеліктері келтірілген. Сонымен қатар табиғи жел энергиясын пайдалана отырып, электр энергиясын алуға арналған желқозғалтқыштарын құрудың пайдалы жолдары ұсынылған. Алынған нәтижелер ғылыми, тәжірибелік көзқарас бойынша қызығушылық тудырады.

K.Kusainov, S.E.Sakipova, B.R.Nusupbekov, A.K.Hasenov

Creating an action of laboratory model of wind turbine based magnus

In work was investigated the laboratory model of a wind turbine working on the basis of effect of Magnusa. Novelty of offered model is the element of a rotor is executed in the form of rotating cylindrical elements of variable section. It allows to use arising at rotation of blades in a stream additional force due to Magnus effect. Results of experimental tests of two element models are resulted at various speeds of an air stream. Data about change of size of elevating force from frequency and are obtained directions of rotation of cylindrical elements with a various surface. The basic characteristics and the device of installation are considered, the description of the some features of a wind turbine are shown. Besides, practical ways of use of energy of a natural wind for electric power development are proved. The received results have the important practical application.

К.Кусаинов, С.Е.Сакипова, Н.Н.Омаров

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

Анализ эффективности ветродвигателей с вращающимися элементами переменного сечения

В статье рассмотрены особенности ветровой турбины с вращающимися элементами. Определены оптимальные параметры расчета аэродинамических характеристик вращающихся цилиндрических элементов и лопастей в форме усеченного конуса. Проведен расчет влияния эффекта Магнуса на аэродинамические характеристики и потенциал ветровой турбины при различных условиях потока. Полученные результаты могут быть использованы для улучшения работы ветряных турбин, работающих на эффекте Магнуса. Показано, что при прочих равных условиях использование вращающихся элементов в виде усеченного конуса приводит к увеличению подъемной силы по сравнению с цилиндром.

Ключевые слова: ветродвигатель, эффективность, переменное сечение, вращающийся элемент.

В ветродвигателе с вращающимися цилиндрами используется эффект Магнуса, который заключается в появлении дополнительной подъемной силы (силы Магнуса) при вращении цилиндра в поперечном потоке. Аналогично подъемной силе эта сила может быть использована для вращения ветроколеса и при подборе оптимальных условий, как геометрических, так и аэродинамических, может иметь достаточно большую величину. В связи с этим исследуются наиболее оптимальные формы вращающихся элементов ветродвигателя, которые могли бы обеспечить возникновение максимально возможной по величине силы Магнуса.

Ветродвигатель (ВД) с эффектом Магнуса имеет ряд существенных отличий от традиционных лопастных ВД. В настоящее время отсутствуют точные методы определения характеристик ВД с эффектом Магнуса. Это связано с тем, что возле вращающегося цилиндра обтекание является существенно трехмерным из-за растекания воздушного потока от центра ветроколеса к его периферии. Трехмерность обтекания особенно усиливается вблизи концевых поверхностей, где под действием центробежных сил формируется радиальное течение. Кроме того, течение на вращающемся цилиндре зависит от переходных процессов в пограничном слое, которые влияют на положение точек отрыва потока. С другой стороны, экспериментальные исследования, проведенные для ВД с эффектом Магнуса, показывают необходимость использования вращающихся цилиндров переменного сечения.

Сложный трехмерный характер обтекания цилиндра с отрывом пограничного слоя не позволяет в настоящее время получить строгое теоретическое решение. Для выявления оптимальных параметров проведен расчет аэродинамических характеристик вращающихся цилиндрических элементов, при этом изменялась частота вращения цилиндрического элемента. Скорость воздушного потока приравнялась экспериментальному значению и менялась в диапазоне от 2,0 м/с до 15 м/с. В предварительном расчете использовалась наиболее простая форма цилиндров с одинаковым диаметром по всей длине (однородные цилиндры).

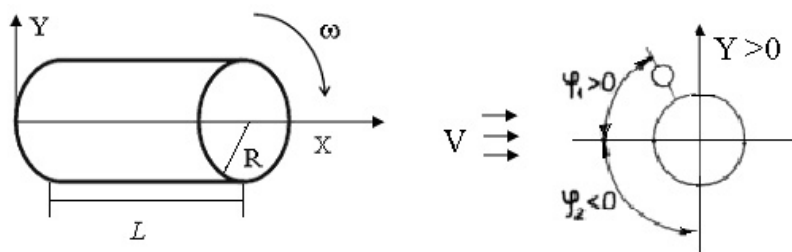


Рисунок 1. Схема цилиндрического элемента постоянного сечения

На рисунке 1 показана простейшая форма: R — радиус вращающегося цилиндрического элемента и L — длина. В расчетах также используется безразмерная характеристика — относительное удлинение $\lambda = R/L$.

При поперечном обтекании вращающегося цилиндра на него действует подъемная сила и возникающая сила Магнуса, а также силы сопротивления поступательному движению и вращению. Наибо-

лее значительной из них является сила Магнуса, которая направлена по нормали к набегающему потоку и к оси цилиндра. При оптимальных условиях обтекания цилиндра данная сила может на порядок и более превосходить подъемную силу лопасти, что и позволяет использовать ее для вращения ветроколеса. Силы сопротивления тоже играют существенную роль, определяя его быстроходность и затраты мощности на вращение цилиндров. Сила Магнуса Y в общем виде выражается формулой [1–3]

$$Y = \rho \cdot V \cdot \Gamma \cdot L, \quad (1)$$

где ρ — плотность среды (воздуха); V — скорость потока; Γ — циркуляция, создаваемая вращением цилиндра; L — длина цилиндра.

Циркуляцию для реального, отрывного обтекания можно представить следующим образом:

$$\Gamma = K_0 \Gamma_0 = K_r (2\pi R^2 \omega), \quad (2)$$

где Γ_0 — циркуляция при безотрывном обтекании цилиндра; K_r — коэффициент, учитывающий влияние отрыва потока; R — радиус цилиндра; ω — частота вращения цилиндра.

Коэффициент K_r , в соответствии с [2] и с учетом данных эксперимента, может быть определен по формуле

$$K_r = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2\pi}, \quad \phi_1 \geq \phi_2, \quad (3)$$

где ϕ_1 и ϕ_2 — положение точек отрыва потока на верхней и нижней сторонах цилиндра (рис. 1).

При безотрывном обтекании, а также непосредственно на поверхности цилиндра $K_r = 1$, что соответствует случаю $\phi_1 + \phi_2 = 2\pi$. При $\phi_1 + \phi_2 = \pi$ коэффициент K_r будет равняться 0,5. Для реального, отрывного обтекания цилиндра в интересующей нас области чисел Рейнольдса ($Re = VD/\nu > 10$, где D — диаметр цилиндра; ν — коэффициент кинематической вязкости среды) в большинстве случаев $K_r \leq 0,5$ [2–3].

Введем безразмерные коэффициенты силы Магнуса Y цилиндра:

$$C_{y1} = \frac{Y}{q \cdot S_1}, \quad (4)$$

где $q = \rho V^2/2$ — скоростной напор; $S = dL$ — площадь цилиндра в плане.

Введем также параметр θ — относительную скорость вращения цилиндра

$$\theta = \frac{\omega \cdot D}{2V} = \frac{\pi D n_u}{60V}, \quad (5)$$

где n_u — частота вращения цилиндра (об/мин).

Из (1), (2), (4), (5) следует

$$C_{y1} = K_r \cdot 2\pi\theta, \quad (6)$$

в частности,

$$C_{y1} = 2\pi\theta \quad \text{при } K_r = 1, \quad (7)$$

$$C_{y1} \leq \pi\theta \quad \text{при } K_r < 0,5, \quad (8)$$

в том числе

$$C_{y1} < 0 \quad \text{при } K_r < 0 \quad (9)$$

Из (6) при необходимости можно определить коэффициент K_r , используя экспериментальные данные для C_{y1} (обратная задача):

$$K_r = C_{y1} / 2\pi\theta. \quad (10)$$

Значение $C_{y1} = \pi\theta$ при $K_r = 0,5$ (7) является максимальным (асимптотическим) для реального, отрывного обтекания цилиндра, что следует из экспериментальных данных. При наличии прямых концевых поверхностей, согласно имеющимся к настоящему времени экспериментальным данным, $C_{y1} \leq \pi\theta$ и $C_{x1} > 0$, причем в области $\theta < 0,5$ коэффициент C_{y1} может принимать отрицательные значения.

Известно, что аэродинамические характеристики ВД с вращающимися цилиндрами зависят от достаточно большого числа параметров — геометрических, кинематических и энергетических. Согласно общепринятым стандартным расчетам [1–3] основными кинематическими и энергетическими характеристиками ВД являются: θ — относительная скорость вращения цилиндров, Z — быстроход-

ность ВД, N_k — его мощность и $N_{вр}$ — затраты мощности на вращение цилиндров. Мощность элемента N_k аналогично лопастному двигателю можно определить по известной формуле [3, 4]:

$$N_k = \eta \frac{\rho V^3}{2} \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \eta \frac{\pi \rho V^3 D^2}{8}, \quad (11)$$

где η — коэффициент мощности.

Коэффициент мощности η определяется отношением

$$\eta = \frac{N_k}{N_\infty}, \quad (12)$$

где N_∞ — мощность набегающего ветрового потока, которая выражается формулой (11) при $\eta = 1$.

Расчеты, согласованные с практическими испытаниями, показывают, что коэффициент η может изменяться в пределах от нуля до $\eta_{\max} = 0,593$, где η_{\max} — максимальное теоретическое значение, которое следует из условия идеального обтекания цилиндрического элемента или ветроколеса [1, 3, 4].

Кроме формулы (11), мощность вращения N_k , может быть определена по результатам тарировки при различной нагрузке на генератор (создаваемой дискретными значениями тока возбуждения и сопротивления на выходе генератора), согласно которым может быть выражена в виде следующей функции [1]:

$$N_k = K_N \cdot n_k^2 = 0,55 \cdot 10^{-3} \cdot G^2 \cdot n_k^2, \quad (13)$$

где n_k — частота вращения ветроколеса; K_N и G — тарировочные коэффициенты мощности.

Используемый далее тарировочный параметр $G = 42,6 \cdot \sqrt{K_N}$, который имеет размерность $(\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с})^{-2}$, варьируется в диапазоне $G \div 1-6$. Подставляя в (13) значения (11), (12), получим:

$$G \cdot Z = 1,4 \cdot \sqrt{\rho \eta V}, \quad (14)$$

где Z — быстроходность ветроколеса равна

$$Z = \frac{\pi D n_k}{60 V}. \quad (15)$$

Для исследуемой модели с диаметром $D = 50$ мм при заданных условиях эксперимента, считая $\rho = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$, вместо (14) получим обобщающее соотношение:

$$G \cdot Z = 5,5 \cdot \sqrt{\eta V}. \quad (16)$$

Полученные зависимости позволяют определить параметры ветроколеса λ , θ , G , R и рассчитать его основные характеристики η , Z для заданных условий эксперимента. Результаты экспериментальных исследований, проведенных на моделях ВД и на отдельных вращающихся цилиндрах [1, 2], с учетом некоторых известных теоретических данных [3, 4] позволяют получить достаточно близкие к точным полуэмпирические зависимости для определения характеристик ветроколеса и оптимизации его параметров. Мощность ветроколеса, согласно (13), равна

$$N_x = Q \cdot (V - V_0)^2, \quad (17)$$

где базовая часть Q ($\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}$) выражается в виде

$$Q = K_N \cdot E^2 = \frac{0,55 \cdot 10^{-3} \cdot G^2}{(\alpha_0 + K_\lambda \cdot G^2)^2}. \quad (18)$$

Приравнявая (11) и (17), получим выражение для коэффициента мощности:

$$\eta = \frac{8Q \cdot (V - V_0)^2}{\pi \rho V^3 D^2}. \quad (19)$$

Для испытуемой модели в условиях эксперимента получим следующую расчетную формулу для мощности:

$$\eta = 0,6Q \frac{(V - V_0)^2}{V^3}. \quad (20)$$

Тогда быстроходность ветроколеса Z (15) для этой модели с учетом (16), (20) имеет вид:

$$Z = 4,2 \frac{\sqrt{Q}}{G} \cdot \frac{(V - V_0)}{V}. \quad (21)$$

Из (20), (21) следует, что для ВД данного типа расчетные значения $\eta(V)$ уменьшаются с ростом скорости V .

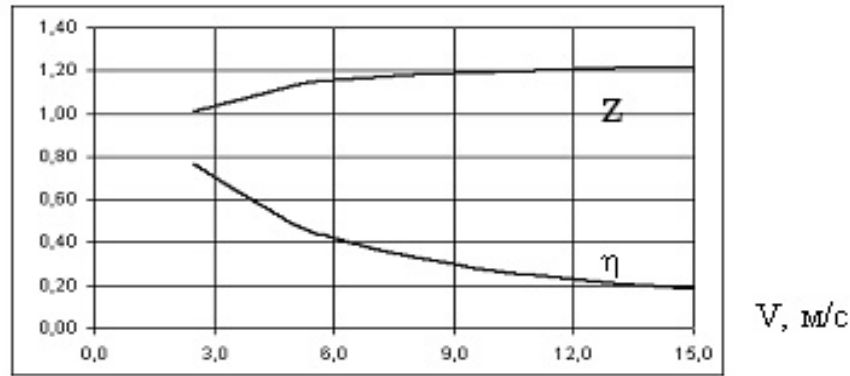


Рисунок 2. Зависимость расчетной мощности и быстроходности от скорости потока при постоянном параметре Q

Результаты расчетов, приведенные на рисунке 2, показывают, что в точке при минимальной скорости коэффициент η имеет максимум, который при достаточно большой величине Q может существенно превосходить максимальное теоретическое значение $\eta_{\max} = 0,593$, но это противоречит реальной картине.

Выполнение условия $\eta < \eta_{\max}$ можно обеспечить соответствующим выбором параметра G , от которого зависит мощность N_K (4), что возможно путем соответствующего изменения формы цилиндров (переменному сечению, форме и степени закругления торцевой поверхности) таким образом, чтобы обеспечить более плавное обтекание и уменьшить срыв вихрей с боковых поверхностей вращающегося цилиндра

Определим затраты мощности на вращение цилиндров исходя из реальных условий и на основе экспериментальных данных. Полные затраты мощности на вращение цилиндров представляют собой сумму составляющих

$$\sum N_{ep} = N_u + N_s + N_e + N_n, \quad (22)$$

где затраты мощности: N_u — на трение о воздух внешней поверхности цилиндра; N_s — электрические потери в двигателях вращения цилиндров; N_e — потери на трение во внутреннем пространстве цилиндра; N_n — потери в подшипниках цилиндра.

Основной вклад в (22) дают N_u и N_s , которые обозначим N_{ep} . Для определения величины N_{ep} используем результаты измерений [3–8], проведенные на поперечно обтекаемых цилиндрах с диаметром $d = 50$ мм и удлинением $\lambda = 2$ и 4 при скоростях потока $V = 0$ и 12 м/с ($Re = 1,4–10$). Обработка экспериментальных данных показала, что зависимости $N(\lambda)$ и $N(V)$ имеют выраженный нелинейный характер. При удлинении $\lambda = 4$ значения мощности в неподвижной среде на 30–40 % выше, чем при наличии потока. Представим составляющую N_u в следующем виде:

$$N_u = K_u = qV\theta^3 DL, \quad (23)$$

где K_u — коэффициент пропорциональности, который определяется подстановкой в (23) измеренных значений N_u и других величин.

Подставляя известное значение плотности воздуха, получим значения для $K_u = 0,0089$ и 0,009. Суммарные затраты мощности N_{ep} на вращение цилиндра, согласно (23), составят

$$N_{ep} = K_m \cdot qV\theta^3 D^2 \lambda. \quad (24)$$

Расчетные значения по (24) достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными [4–8], разница составляет не более 3 %. Значения N_{ep} , определенные по формуле (24), относятся только к поперечно обтекаемому цилиндру при однородных условиях, т.е. при $D = \text{const}$.

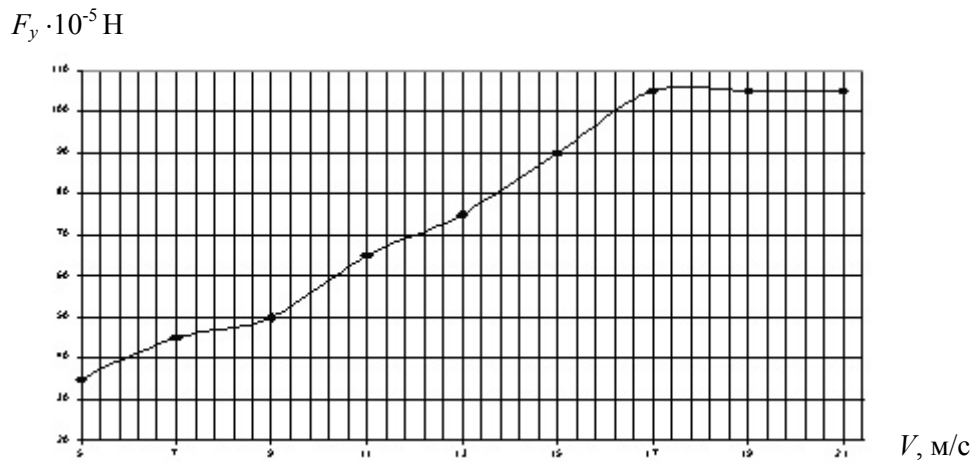


Рисунок 3. Зависимость подъемной силы от скорости потока для гладкого конуса с вращением

Известно, что достаточно высокая эффективность ВД может быть достигнута, если удлинение цилиндров будет увеличено до $\lambda = 14-15$, что по ряду параметров близко к предельному значению и ограничено возможностями практического изготовления. Дальнейшее повышение эффективности возможно только путем соответствующего изменения формы цилиндров или другими способами управления течением. Поэтому были проведены эксперименты, в которых с помощью аэродинамических весов определялась подъемная сила для вращающихся элементов в виде поперечно обтекаемого усеченного конуса и цилиндров с закругленными торцами. Результаты экспериментальных измерений подъемной силы, возникающей при обтекании усеченного конуса с гладкой и шероховатой поверхностью, приведены на рисунках 3 и 4. В обоих случаях вращение усеченного конуса происходит навстречу воздушному потоку.

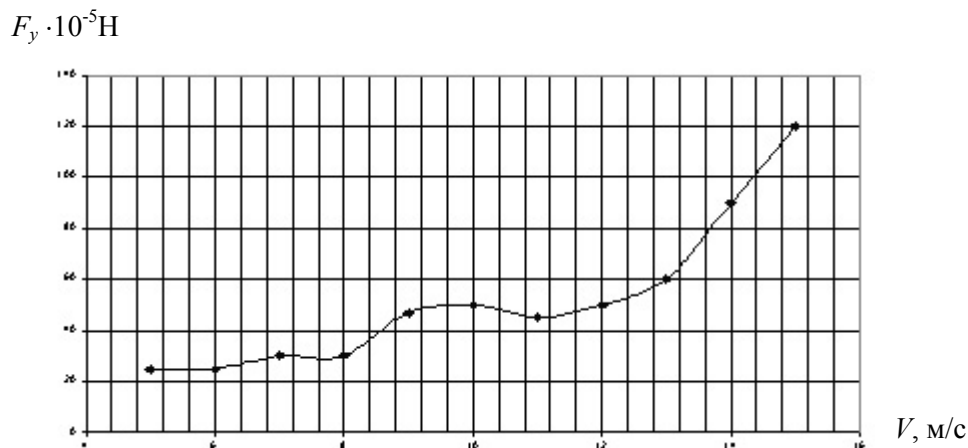


Рисунок 4. Зависимость подъемной силы от скорости потока для шероховатого конуса с вращением

Качественно характер зависимостей повторяет данные, полученные для цилиндра. Подъемная сила, к которой добавляется сила Магнуса, возрастает с увеличением скорости набегающего потока. Шероховатость обтекаемой поверхности усиливает эффект увеличения максимума подъемной силы, влияние частоты вращения будет исследовано в дальнейшем.

Таким образом, при прочих равных условиях использование вращающегося элемента в виде усеченного конуса приводит к увеличению подъемной силы по сравнению с цилиндром. К примеру, при скорости воздушного потока 18 м/с изменением диаметра поперечного сечения можно достичь возрастания подъемной силы в более чем 2,5 раза.

Список литературы

- 1 *Бычков Н.М.* Ветродвиатель с эффектом Магнуса. 1. Результаты модельных исследований // Теплофизика и аэромеханика. — 2004. — Т. 11. — № 4. — С. 583–596.
- 2 *Бычков Н.М.* Ветродвиатель с эффектом Магнуса. 2. Характеристики вращающегося цилиндра // Теплофизика и аэромеханика. — 2005. — Т. 12. — № 1. — С. 59–175.
- 3 *Бычков Н.М.* Ветродвиатель с эффектом Магнуса. 3. Расчетные характеристики ветроколеса // Теплофизика и аэромеханика. — 2008. — Т. 15. — № 2. — С. 583–596.
- 4 *Акылбаев Ж.С., Кусаинов К., Сакипова С.Е., Никитина Л.А.* Особенности аэродинамики вращающегося цилиндра в потоке // Промышленная теплотехника. — Киев, 2003. — № 4. — Т. 25. — С. 279–281.
- 5 *Акылбаев Ж.С., Кусаинов К., Сакипова С.Е. и др.* Исследование подъемной силы вращающегося цилиндра при поперечном обтекании турбулентным потоком газа // Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование. — Алматы: КазНУ, 2003. — С. 78.
- 6 *Kusainov K., Sakipova S.E.* Aerodynamics of the cylinder in a cross flow // Eurasian Physical Technical Journal. — Karaganda: KarSU. — 2004. — Vol. 4. — № 1. — P. 71–75.
- 7 *Kusainov K., Sakipova S.E., Nikitina L.A.* Aerodynamics of the transversally streamlined rotated barrel // Methods of aerophysical research: Materials of 12th international conference. ICMAR-2004. — Novosibirsk, 2004. — Vol. 4. — P. 195–198.
- 8 *Кусаинов К., Жуматаева Г.С., Рузанов К.А., Хасенов А.К.* Турбулентный след за усеченным конусом / Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент: Материалы 5-й междунар. конф. — Астана, 2006. — С. 55–58.

Қ.Құсайынов, С.Е.Сақыпова, Н.Н.Омаров

**Көлденең қималы айналмалы элементті
желқозғалтқыштарының қарқындылығын талдау**

Мақалада айнымалы ағында цилиндрлік элементті желқозғалтқыштың қарқындылығын талдау қарастырылған. Айналмалы цилиндрлі желқозғалтқыш Магнус эффектісіне негізделген. Тиімді параметрлерді алу үшін айналыстағы цилиндрлік элементтің және конус тәрізді лопастердың аэродинамикалық сипаттамасының есебі жүргізілді. Ағынның әр түрлі шарттарында Магнус күшінің және желқозғалтқышының қуатының есептеулері жасалды. Алынған нәтижелер келешекте желқозғалтқыштар жұмысын арттыруға мүмкіндік береді. Магнус эффектісіне негізделген желқозғалтқыштың сипаттамасы, ерекшелігі келтірілген. Бірдей шарттарда цилиндрлікпен салыстыра отырып, конус тәріздес айналмалы элементті қолданғанда көтеру күшінің артатыны анықталды.

K.Kusainov, S.E.Sakipova, N.N.Omarov

Effectiveness wind turbine rotating element of variable section

In article are considered features of a wind turbine with rotating elements. Use wind turbine with rotating elements in an air stream provides occurrence of Magnus effect. For revealing optimum parameters calculation of aerodynamic characteristics of rotating cylindrical elements and blades in the form of the truncated cone is lead. There are calculation of influence of Magnus effect on aerodynamic characteristics and capacities of a wind turbine under various conditions of a flow. The received results allow to define possible ways of improvement of work of a wind turbine with Magnus effect. It is shown, that with other things being equal use of a rotating element in the form of the truncated cone leads to increase in elevating force in comparison with the cylinder.

Б.Р.Нусупбеков¹, Н.Т.Исембергенов²

¹Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова;

²Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева, Алматы

Создание малооборотистого безредукторного ветроэнергетического источника электропитания

Отмечено, что ветроэлектрические установки в значительной мере зависят от выбранной конструкции тихоходного ветродвигателя, которая соответствует ветровым условиям нашей Республики Казахстан, поэтому разработка и создание низкооборотного генератора является актуальной технической задачей. В ходе проведения создания генератора были разработаны и изготовлены различные варианты синхронных низкооборотных торцевых генераторов. Показано: особенностью конструкции 1-го варианта низкооборотного генератора является то, что в генераторе имеется два статора, благодаря чему возрастает мощность; особенностью конструкции 2-го варианта низкооборотного генератора является то, что данный вариант генератора разработан с одним статором. Определено, что генератор с постоянными магнитами состоит из торцевого статора и по окружности расположены полюсные выступы с обмоткой якоря. В качестве возбуждения использованы постоянные магниты, при этом полярность магнитных потоков должна чередоваться в прямой последовательности.

Ключевые слова: ветроэлектрические установки, генераторы, обмотка якоря, постоянные магниты, полярность магнитных потоков, торцевой статор.

Исследования ветроэнергетического потенциала в ряде мест по территории Казахстана, проведенные в рамках проекта Программы развития ООН по ветроэнергетике, показывают наличие хорошего ветрового климата и условий для строительства ветроэлектрической станции (ВЭС) в Южной зоне (Алматинская, Жамбылская, Южно-Казахстанская области), в Западной зоне (Мангистауская и Атырауская области), в Северной зоне (Акмолинская область) и в Центральной зоне (Карагандинская область). Наличие свободного пространства позволяет развивать мощности ВЭС до тысяч МВт. На Юге и Западе Казахстана спрос на ветроэнергетику появится уже к 2015 г., что обусловлено возрастающим дефицитом электроэнергии и ростом цен на газ, используемый на местных электростанциях, а также импортом электроэнергии из Центральноазиатских Республик. Всемирное вовлечение возобновляемых источников энергии в производство электроэнергии позволяет добиться стабилизации выбросов парниковых газов от энергетического сектора. Однако в условиях существующего рынка электроэнергии ветроэнергетические ресурсы Казахстана практически не осваиваются. Основной причиной является неконкурентность ветроэнергетики на рынке электроэнергии. Стоимость электроэнергии от ВЭС с учетом возврата инвестиций может составлять порядка 8–12 тг/кВт·ч. Стоимость электроэнергии на шинах энергопроизводящих организаций составляет в настоящее время 2–4,5 тг/кВт·ч. Прогнозируемая стоимость электроэнергии у энергопроизводящих организаций к 2015 г. может составить: в Южной зоне — 5,5–8,5* тг/кВт·ч, Западной зоне — 5–6 тг/кВт·ч, Акмолинской области — 5,5–7,9* тг/кВт·ч, Карагандинской области — 6–7,5* тг/кВт·ч (* — стоимость электроэнергии у энергопроизводящих организаций Павлодарской области с учетом транспорта по сетям КЕГОК). Необходимо отметить, что после возврата инвестиций ветроэнергетика вполне может быть конкурентной на рынке электроэнергии¹.

Казахстан обладает также значительными ресурсами возобновляемой энергии в виде гидроэнергии, энергии солнца, ветроэнергии, биомассы. Однако, помимо части гидроэнергии, эти ресурсы не нашли широкого применения, вплоть до настоящего времени.

Из возобновляемых источников энергии наиболее эффективной является ветроэнергия, хотя ее использование связано с определенными климатическими условиями. Ветер является одним из наиболее мощных энергетических источников и может быть утилизирован в народном хозяйстве в значительно больших масштабах, чем в настоящее время. Потенциальные возможности использования энергии ветра практически не ограничены в большинстве зон. Однако эти возможности постоянно меняются в зависимости от совершенствования технических средств.

¹ Национальная программа развития ветроэнергетики до 2015 года с перспективой до 2024 года; План развития электроэнергетической отрасли РК. Министерство энергетики и минеральных ресурсов РК. 2007 год.

Эффективное использование ветродвигателей наиболее привлекательно, так как не нарушается природный баланс энергии на планете и одновременно используется безотходная, **экологически чистая** технология производства энергии для различных целей: заряд аккумуляторов и накопление электроэнергии, энергоснабжение различных объектов и удаленных местностей (освещение улиц, отопление зданий, домов, ферм, электрификация полевых станков и зернохранилищ, пастбищ, пасек и др.). Ветродвигатель имеет широкий диапазон эксплуатационных скоростей ветра и может работать в неоднородном воздушном потоке у поверхностей Земли, используя энергию приземного ветра.

Таким образом, ветроэнергетика рассматривается не только как экологически «чистый» источник энергии, она также поддерживает социально-экономическое развитие, энергетическую безопасность и снижает зависимость электроэнергии от цен на топливо. В связи с вышеизложенным разработка и внедрение ветроэнергетических станций для производства электроэнергии на сегодняшний день являются актуальной задачей промышленности.

На сегодняшний день в зависимости от числа лопастей ветродвигатели разделяются на быстроходные и тихоходные. Их быстроходность определяется отношением окружной скорости конца лопасти ветродвигателя к скорости ветра $Z = \frac{\omega R}{V}$, где $\omega = \frac{\pi n}{30}$ — угловая скорость конца лопасти при числе оборотов « n » ветродвигателя, об./мин; R — радиус ветродвигателя, м; V — скорость ветра, м/сек.

Характеристики и параметры ветродвигателя удобно сопоставлять при помощи аэродинамических характеристик, которые показывают, как изменяются коэффициент использования энергии ветра и крутящий момент в зависимости от быстроходности [1]. Аэродинамические характеристики трех- и многолопастных ветродвигателей, представленные в работе [2], позволили определить их основные параметры, которые приведены в таблице.

Из полученных данных можно сделать следующие выводы: многолопастные ветродвигатели отличаются большим моментом сдвига и вращения и малой быстроходностью, а малолопастной — относительно малым моментом сдвига и большой быстроходностью.

Однако следует отметить, что их мощность практически не зависит от числа лопастей и будет одинаковой, если равны диаметры ветродвигателя и коэффициенты использования энергии ветра, который определяется как доля первоначальной энергии воздушного потока, преобразованная ВД в механическую. Мощность ветродвигателя в зависимости от его диаметра, скорости ветра и коэффициента использования энергии ветра определяется выражением

$$P = \frac{D^2 V^3 \xi}{2080} [kW], \quad (1)$$

откуда следует, что мощность ветродвигателя изменяется пропорционально квадрату диаметра и кубу скорости ветра, где ξ — коэффициент использования энергии ветра.

Т а б л и ц а

Основные параметры многолопастных ветродвигателей

Наименование показателя/число лопастей	3 лопасти	12 лопастей	18 лопастей
Коэффициент использования энергии ветра	0,42	0,34	0,36
Относительный момент сдвига и вращения	0,03	0,28	0,48
Нормальная быстроходность	4,0	2,5	1,5
Синхронная быстроходность	8,0	6,0	2,6
Скорость ветра начала вращения ВД, м/с	5,0–7,0	2,5–3,0	3,0–4,0

Из приведенных данных таблицы следует, что технические параметры рассматриваемых ветродвигателей по некоторым показателям отличаются существенно. Следовательно, их эксплуатационные показатели будут весьма различными в процессе их работы при одних и тех же ветровых режимах. Поэтому для правильной и эффективной их эксплуатации важно знать не только конструктивные параметры ветродвигателя, но и сколько часов в год может работать ветроэлектрическая установка (ВЭУ) с данным ветродвигателем, а также среднегодовую полезную мощность, ветроэнергетические параметры и коэффициент использования установленной мощности ВЭУ [3–5].

Отличительной особенностью разработанной электрической системы ветроэлектрической установки является наличие принципиально нового генератора, что повышает надёжность электрической системы и снижает ее стоимость.

Важно, что эффективность эксплуатации разработанной ветроэлектрической установки в значительной мере зависит от выбранной конструкции тихоходного ветродвигателя, которая соответствует ветровым условиям Республики Казахстан, и ветроэлектрическая установка может обеспечить потребителя электроэнергией в течение 60 % годового времени. Быстроходные ветродвигатели обладают малым пусковым моментом и большей стартовой скоростью ветра — 5–7 м/с, следовательно, эксплуатация ветроэлектрических установок с быстроходными ветродвигателями при действующих скоростях ветра на территории республики практически неприемлема для надёжного и эффективного использования энергетических ресурсов ветра.

Таким образом, как показали результаты исследований, правильный выбор конструктивного исполнения ветродвигателя и генератора во многом определяется полнотой учёта ветровых режимов и хозяйственных условий эксплуатации на территории, мощности и режимов работы токоприёмников, а также требований, предъявляемых к энергоснабжению потребителя. Несомненно, что оптимальная конструкция вращающегося цилиндра заданного сечения, кинематической передачи и электрической системы установки обеспечит более эффективную работу установки и позволит успешно решать вопросы использования энергии ветра.

В связи с этим нами разработаны различные модели синхронных генераторов для выработки электрической энергии, а также в ходе экспериментальных работ выбраны оптимальные варианты низкооборотных генераторов.

По нашим данным, для работы ветродвигателя ВДВЦ наиболее пригодны разработанные нами тихоходные торцевые генераторы коммутаторного типа (НТГК-1), которые позволяют осуществлять их привод от ветроколеса, надетого непосредственно на вал генератора [6–7].

Как известно, для быстроходных генераторов требуется специальная передача от ветроколеса (которую на местах часто затруднительно изготовить). В связи с этим ветроэнергетическая установка вырабатывает энергии в 5 раз меньше по сравнению с ветроколесом, насаженным непосредственно на вал генератора.

Следует учесть, что 24-вольтовый генератор мощностью около 2 кВт, работающий при стартерном запуске как электродвигатель от аккумуляторов с напряжением около 24 В, будет на холостом ходу потреблять не менее 10 и не более 15 А. Число оборотов этого генератора на 40 % меньше, чем генератора, который вращается непосредственно от ветроколеса и даст ток такой же силы, заряжая 24-вольтовые источники питания.

В ходе проведения работ по созданию генератора нами были разработаны и изготовлены различные варианты синхронных низкооборотных торцевых генераторов. Особенностью конструкции 1-го варианта низкооборотного генератора является то, что в нем имеется два статора, благодаря чему возрастает мощность. По принципу работы генератор ничем не отличается от известных синхронных генераторов, однако конструктивные изменения позволяют выполнить его низкооборотным.

Особенностью конструкции низкооборотного генератора является то, что в генераторе дополнительно имеется второй торцовый статор с полюсными выступами, на которых расположены обмотки возбуждения, благодаря чему возрастает мощность, и система возбуждения становится бесконтактной.

На рисунке 1 представлена упрощенная конструкция низкооборотного торцевого генератора коммутаторного типа с обмоткой возбуждения. Низкооборотный торцовый генератор с обмоткой возбуждения состоит из двух торцовых статоров 1 и 2, а по окружности расположены полюсные выступы с обмоткой якоря 3, а также расположены обмотки возбуждения. Иногда обмотки возбуждения могут быть заманены постоянными магнитами 4. В качестве возбуждения могут быть использованы обмотки возбуждения (рис. 2 и 3), при этом полярность магнитных потоков должна чередоваться. Между шихтованными сердечниками статора 1 и 2 расположены по окружности сердечники ротора 5, которые изолированы друг от друга немагнитным материалом 6. На валу ротора 7 посажены подшипники 9, которые с помощью передней и задней крышек 8 крепятся к корпусу 10.

На рисунке 2 представлена развернутая схема низкооборотного торцевого генератора коммутаторного типа, где второй торцовый статор с полюсными выступами, на которых намотаны обмотки возбуждения, сдвинуты относительно таких же выступов первого статора на половину полюсного деления, а сердечники ротора находятся между торцовыми статорами и изолированы друг от друга немагнитным материалом.

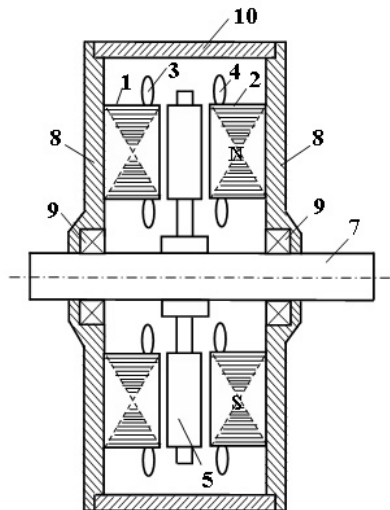


Рисунок 1. Низкооборотный торцовый генератор коммутаторного типа (НТТК-1)

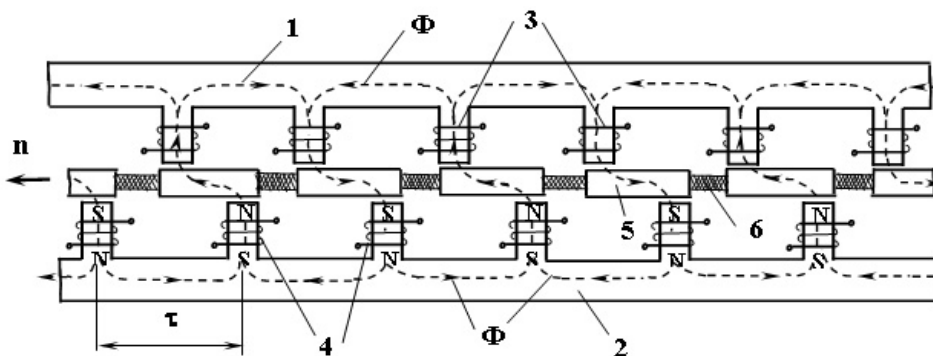


Рисунок 2. Схема низкооборотного торцового генератора коммутаторного типа

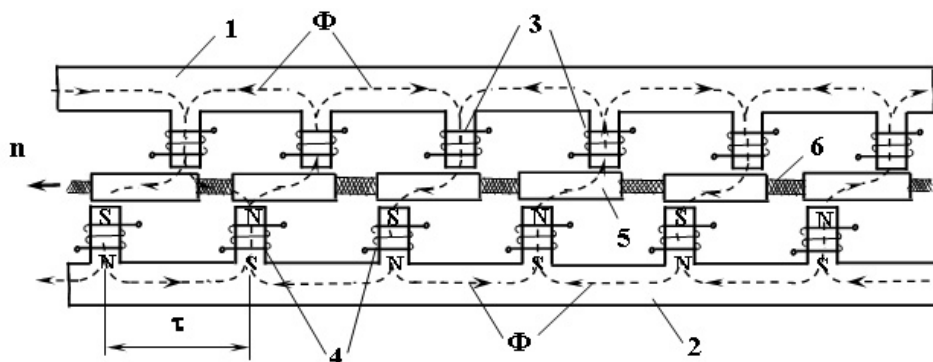


Рисунок 3. Положение ротора относительно статора

На рисунке 3 представлена развернутая схема низкооборотного торцового генератора коммутаторного типа с обмоткой возбуждения при повороте ротора на половину одного полюсного деления τ .

Низкооборотный торцовый генератор работает следующим образом. Магнитные потоки Φ от обмоток возбуждения ($N-S$) замыкаются через сердечник ротора 5 и через выступы сердечника статора 1 и 2. Эти магнитные потоки Φ двух полюсов генератора и наводят электродвижущие силы (ЭДС) в обмотках статора 3. При повороте ротора (рис. 3) на половину одного полюсного деления τ магнитные потоки Φ от обмоток возбуждения или постоянных магнитов ($N-S$) будут иметь обратное направление, замыкаясь через выступы статора 1 и 2, также образуя магнитный поток Φ генератора и наводя электродвижущие силы (ЭДС) в обмотках статора 3 обратной полярности. При дальнейшем повороте ротора (рис. 2) магнитные потоки Φ от обмоток возбуждения 4 или постоянных

магнитов ($N-S$) будут иметь первоначальное направление, замыкаясь через выступы статора 1 и 2 и наводя электродвижущие силы (ЭДС) в обмотках статора 3 прямой полярности.

Таким образом, при вращении ротора происходит периодическое изменение направления магнитного потока в обмотках статора и наведение электродвижущей силы (ЭДС) переменного тока.

В данных генераторах цикл изменения магнитного потока, соответствующего одному периоду изменения ЭДС в обмотке статора, определяется поворотом ротора на одно полюсное деление. Поэтому частота ЭДС наводимого в обмотке статора будет равна

$$f = 2 \cdot n \cdot p, \quad (2)$$

где p — число пар полюсов обмоток возбуждения или постоянных магнитов; n — частота вращения ротора.

Как видно из последнего выражения, частота напряжения по сравнению с обычным генератором увеличена в два раза, поэтому, увеличивая число постоянных магнитов и уменьшая частоту вращения ротора, можно получить промышленную частоту напряжения.

Дополнительный второй статор, который используется в качестве системы возбуждения, позволяет увеличить не только число витков якоря основного статора, но и сечение проводов и тем самым увеличить значение напряжения и тока нагрузки, т.е. мощность генератора при заданном объеме машины и частоте вращения ротора. Кроме того, такая конструкция генератора по сравнению с традиционными конструкциями значительно проще в изготовлении и позволяет увеличить мощность генератора при уменьшении частоты вращения ротора.

С целью подтверждения принципа работы данного генератора был изготовлен макетный образец такого генератора на базе однофазного асинхронного двигателя мощностью 120 Вт. Результаты экспериментальных исследований показали, что условие (2) соблюдается, и принцип работы генератора коммутаторного типа подтверждается. Генератор с сердечником ротора из массивной стали показал хорошие технические результаты по сравнению с шихтованным. Также были сняты экспериментальные характеристика холостого хода и нагрузочная характеристика. Эти характеристики показывают, что данный генератор коммутаторного типа работает как синхронный генератор, но более устойчиво.

Кроме того, результаты экспериментальных исследований подтвердили основные методы расчета и проектирования таких генераторов, которые были разработаны специально для ветроэлектрических станций.

Особенностью конструкции 2-го варианта низкооборотного генератора является то, что данный вариант разработан с одним статором. Генератор с постоянными магнитами (рис. 4) состоит из торцевого статора 1, и по окружности расположены полюсные выступы с обмоткой якоря 2. В качестве возбуждения использованы постоянные магниты ($N-S$), при этом полярность магнитных потоков должна чередоваться в прямой последовательности.

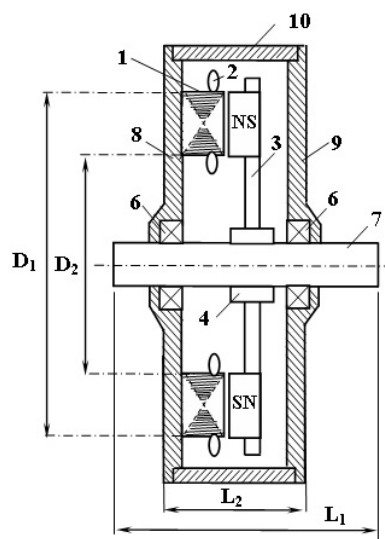


Рисунок 4. Синхронный низкооборотный торцевой генератор с одним статором (2-вариант)

К шихтованному сердечнику статора 1 примыкает ротор 3, по окружности которого находятся постоянные магниты ($N-S$), имеющие с двух сторон вставки 4 из магнитных материалов, которые расположены по окружности ротора и изолированы друг от друга воздушным зазором (рис. 5). Ротор с помощью втулки 4 соединен с валом 7, на которых посажены подшипники 6. Шихтованный сердечник статора 1 закреплен на передней стенке крышки 8 и с помощью задней крышки 9 крепится к корпусу 10.

Синхронный низкооборотный торцовый генератор работает следующим образом. Магнитные потоки Φ от постоянных магнитов ($N-S$) с помощью магнитных вставок 5 направляются на выступы сердечника статора 1, образуя при этом магнитный поток Φ генератора и наводя электродвижущие силы (ЭДС) в обмотках статора 2.

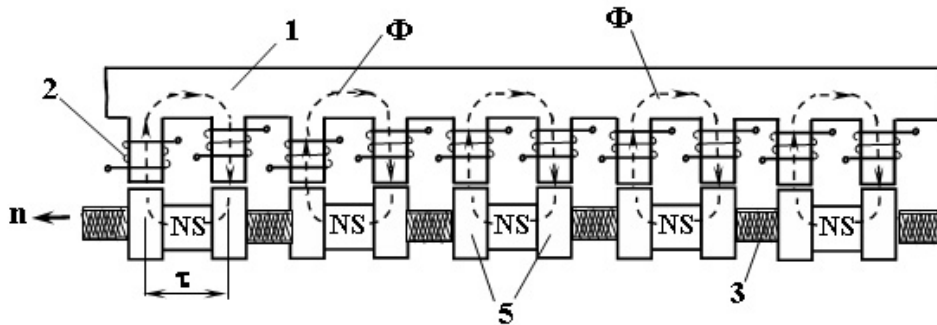


Рисунок 5. Положение постоянных магнитов и ротора

При повороте ротора (рис. 5) на одно полюсное деление τ магнитные потоки Φ от постоянных магнитов ($N-S$) будут иметь обратное направление, замыкаясь через выступы статора 1, также образуя магнитный поток Φ генератора и наводя электродвижущие силы (ЭДС) в обмотках статора обратной полярности. При дальнейшем повороте ротора (рис. 6) магнитные потоки Φ от постоянных магнитов ($N-S$) будут иметь первоначальное направление, замыкаясь через выступы статора 1 и наводя электродвижущие силы (ЭДС) в обмотках статора 2 прямой полярности.

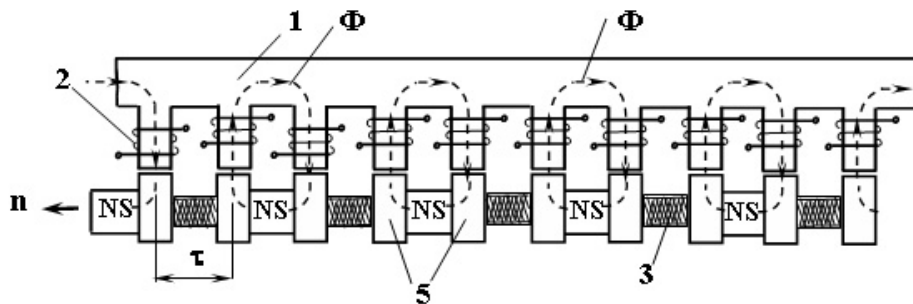


Рисунок 6. Изменение положений постоянных магнитов и ротора

В данном разработанном генераторе цикл изменения магнитного потока, соответствующий одному периоду изменения ЭДС в обмотке статора определяется поворотом ротора на одно полюсное деление. Поэтому частота ЭДС наводимого в обмотке статора будет равна

$$f = n \cdot p. \quad (3)$$

На рисунке 7 представлено фото низкооборотного генератора для ветроэнергетической установки. Статорные выступы были разделены на 12 равных частей и выполнены пазы, на которых располагались обмотки. При статорных выступах $z = 6$ для промышленной частоты $f = 50$ Гц достаточно частоты вращения ротора $n = 500$ об/мин. Постоянные магниты располагались в одной конструкции на статоре, а другой — на роторе. Один сердечник ротора был выполнен шихтованным, а второй — из массивной стали.

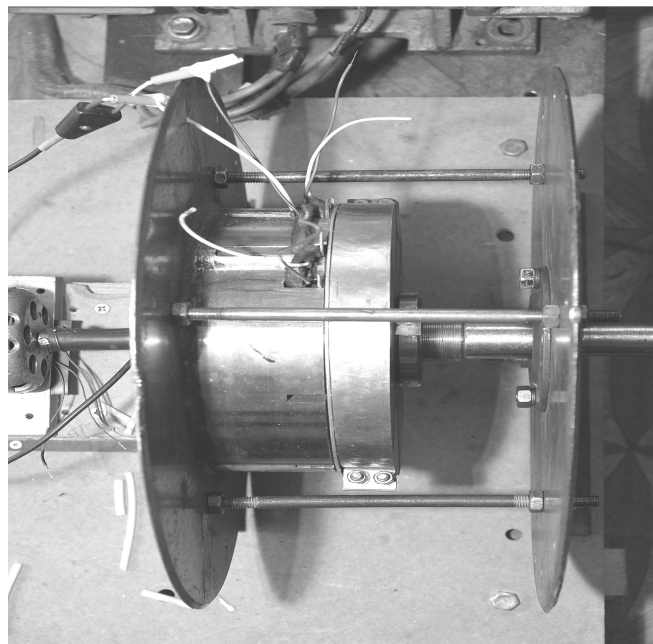


Рисунок 7. Низкооборотный торцовый генератор

Таким образом, нами был разработан, изготовлен и собран оптимальный торцовый генератор (СНТГ-2). Торцовое исполнение статора позволяет увеличить не только число витков якоря, но и сечение проводов и тем самым увеличить значение тока генератора, т.е. мощность генератора при заданном объеме машины и частоте вращения ротора. Кроме того, такая конструкция генератора по сравнению с традиционными конструкциями значительно проще в изготовлении и позволяет увеличить мощность генератора при уменьшении частоты вращения ротора.

Список литературы

- 1 *Фатеев Е.М.* Ветро двигатели и ветроустановки. — М., 1957. — 533 с.
- 2 *Фатеев Е.М.* Ветро двигатели и их применение в сельском хозяйстве. — 1962. — 246 с.; *Войцеховский Б.В.* Перспективные источники энергии и их сравнение с используемыми // Журнал прикладной механики и технической физики. — М.: Наука, 1980. — № 5.
- 3 *Шефтер Я.И.* Использование энергии ветра. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 200 с.
- 4 *Волошаник В.В., Зубарев В.В., Франкфурт М.О.* Использование энергии ветра, океанских волн, течений // Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. — 1983. — 100 с.
- 5 *Гимбарский Е.К., Пильганчук А.В., Поверчук В.А.* Многофункциональные ВЭУ для индивидуального потребления // Энергетика и электрификация. — 2000. — № 12. — С. 32–34.
- 6 *Исембергенов Н.Т.* Асинхронизированный генератор // Патент РК. № 6428. Оpubл. в Б.И. — 1998. — № 6.
- 7 *Исембергенов Н.Т., Сыздықов Д.Ж., Сматов К.С. и др.* Низкоорбитальный асинхронизированный генератор для гидро-ветроэлектрических установок // Патент РК. № 980459. Оpubл. в Б.И. — 2000. — № 2.

Б.Р.Нүсіпбеков, Н.Т.Исембергенов

Электр энергиясын өндіруге арналған аз айналымды генераторларды жасау

Қазақстан Республикасының жел шарттарын қанағаттандыратын желэлектрлік қондырғылар баяу жұмыс істейтін жел қозғалтқыштардың құрылымына тәуелді. Сондықтан төмен айналымды генераторды жасау және құру өзекті техникалық мәселе болып отыр. Генераторды жасау кезінде біз синхронды төмен айналымды бүйірлік генератордың әр түрлі нұсқаларын қарастырдық. Төмен айналымды генератордың 1-нұсқадағы құрылымының ерекшелігі — қуаттың артуына мүмкіндік беретін генераторда екі статорының болуы. Ал төмен айналымды генератордың 2-нұсқадағы құрылымының ерекшелігі — берілген генератордың бір статорлы болып жасалуында. Тұрақты магнитті генератор бүйірлік статордан тұрады және якорь орамасымен толықты шығыңқысы бар ортада орналасқан. Қоздырғыш ретінде тұрақты магниттер қолданылған, бұл кезде магнит өрісі түзу тізбектей алмасуы керек.

B.R.Nusupbekov, N.T.Isembergenov

Creating malooborotistogo gearless Windmills power supply

Wind power installation to a large extent depend on the chosen design slow-speed wind turbine, which corresponds to the wind conditions of our Republic of Kazakhstan. Therefore, the development and creation of low-return generator is an actual technical problem. In the course of a generator, we have developed and manufactured various options for low-return of end of synchronous generators. The peculiarity of design 1-st version of the low-return generator is that the generator has two stator, thus increasing capacity. Design features 2-nd low-return version of the generator is that this version of the generator is designed with a single stator. Permanent magnet generator consists of an end-around the circumference of the stator and the tabs are located pole with coil anchor. As the excitation used permanent magnets, with the polarity of the magnetic fluxes must rotate in direct sequence.

ФИЗИКАНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ МЕТОДИКА ФИЗИКИ

УДК 378:621.1+74.580.22

К.Т.Ермаганбетов, Л.В.Чиркова

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

Элементы креативного образования при подготовке бакалавров технической физики

Обоснована и разработана методика введения элементов креативного обучения в практику подготовки бакалавров технической физики на примере спецкурса «Физическая электроника». Предложен комплекс научно-методических материалов по обучению научному творчеству на базе указанного курса для студентов специальности «Техническая физика». Рассмотрены некоторые методические вопросы изложения темы «Энергетический спектр электронов в полупроводниках» с точки зрения ее значения в осуществлении практико- и исследовательско-ориентированного обучения. Предусмотрено использование компьютерной графики при рассмотрении основных вопросов указанной темы. Показана важность углубленного изучения темы для постановки исследовательско- и практико-ориентированного обучения студентов.

Ключевые слова: креативное образование, элементы, бакалавр, подготовка, техническая физика, научно-методические материалы, компьютерная графика.

Развитие творческих способностей обучаемых — одна из главных задач системы образования страны, которая вытекает из социального заказа современного общества.

Проблема развития творческих способностей учащейся молодежи сложна и многогранна. При ее решении нужно учитывать ряд особенностей. Важная особенность развития творчества у обучаемых состоит в том, что процесс имеет объективный и субъективный характер. Объективность творческого процесса обусловлена новизной и социальной ценностью конечного продукта творчества. Состояние творца при вдохновении, внезапность догадки и интуиция могут иметь субъективный характер. Таким образом, в процессе развития творческих способностей следует организовать учебный процесс так, чтобы поставить студента в положение первооткрывателя того, что уже известно педагогу, но является новым для обучаемого.

Творческие способности обучаемых развиваются прежде всего в процессе деятельности. Следовательно, главной задачей преподавателя при решении этой проблемы является поиск методов и средств, форм организации учебной деятельности обучаемых, ориентированных на развитие творческих способностей.

В современной педагогической науке выделяют три этапа эволюции творческой деятельности личности [1]:

1) возникновение проблемной ситуации, ее первоначальный анализ, осмысление и формулировка проблемы, которые возникают в ходе познания или практической деятельности;

2) поиск пути и способа решения проблемы, осуществляемый в ходе всестороннего анализа проблемы на основе имеющихся знаний;

3) реализация найденного или угаданного принципа решения проблемы и его проверка.

Одновременно исследователями выделяются общие черты творческой деятельности [2]:

1) видение новой функции объекта. При этом человек способен усматривать в привычных вещах способности к иным, подчас неожиданным функциям;

2) самостоятельное комбинирование известных способов деятельности в новый;

- 3) видение структуры объекта: способность улавливать все элементы объекта, а также существенное и несущественное соотношение этих элементов;
- 4) наличие альтернативного мышления, т.е. разностороннее видение проблемы или объекта;
- 5) построение принципиально нового способа решения, не являющегося комбинацией известных способов решения.

Активное осмысление теории посредством исследовательской деятельности способствует развитию творческих возможностей студентов, показывает практическую значимость изучаемого материала, что в итоге приводит к повышению качества знаний у обучаемых.

Недостаточно просто ознакомить студентов с научно-техническими достижениями и объяснениями явлений природы. Необходимо научить их умению всесторонне оценивать эти достижения.

Развитие творческих способностей студентов тесно связано с положительной мотивацией обучения и пробуждением интересов, глубокой и прочной системой знаний, умением применять их для объяснения явлений, а также с обобщенными учебными умениями и навыками, всесторонним развитием самостоятельности обучаемого. Вся работа преподавателя в перечисленных направлениях создает базу для развития творческих способностей студентов, а творческая деятельность способствует самостоятельному приобретению личностью учебных знаний.

Дисциплина «Физическая электроника» является одной из базовых дисциплин рабочего учебного плана подготовки бакалавров технической физики, которая осуществляется в Карагандинском государственном университете им. Е.А.Букетова.

С точки зрения процессов, происходящих на микроскопическом уровне, физическую электронику определяют как «науку, изучающую электронные свойства некоторых твердых тел, а также методы получения материалов с такими характеристиками, которые позволяют создавать устройства для передачи и накопления электронов» [3]. При этом исследуются электронные свойства полупроводников, поскольку именно их характеристики интересны с точки зрения технических приложений.

Физическую электронику, безусловно, можно отнести к предметам исследовательско- и практикоориентированного обучения, поскольку и ее содержание, и используемые методы решения проблем способствуют развитию у студентов творческих способностей, формированию исследовательских навыков и элементов научного мышления [4].

С одной стороны, успехи физической электроники базируются на фундаментальных модельных представлениях физики: физике твердого тела, электродинамике, квантовой механике, статистической физике, термодинамике. С другой стороны, физическая электроника сама является источником и стимулом развития фундаментальной науки. Ярким примером этого может служить развитие нанoeлектроники, базирующейся на физике низкоразмерных систем [5].

Физическая электроника отвечает также еще одному важному критерию отбора задач в исследовательско-ориентированном обучении — разработанности. Это выражается в том, что базисные модельные представления, отражающие структуру и физические процессы в конденсированных средах достаточно консервативны. В то же время модели, используемые в физической электронике, во многом отвечают современному уровню физического мышления (например, изучение нелинейных электрических и оптических явлений и др.), что позволяет формировать у студентов присущее современной физике мышление.

Физическая электроника позволяет, с одной стороны, показать студентам ценность идеализации, когда простые модели дают ту же качественную картину явления, что и более сложные и строгие, а с другой — дает обширный фактический материал для осмысления границ ее применимости. В этой связи нельзя не упомянуть о зонной теории, представлении о больцмановском переносе заряда и других моделях, составляющих основу современных представлений о процессах в твердых телах [6, 7].

Таким образом, изучение физической электроники имеет важное значение при постановке исследовательско- и практикоориентированного учебного процесса с элементами креативного обучения, способствующего подготовке специалистов, способных к самостоятельной профессиональной творческой деятельности.

Одно из центральных мест в указанной учебной дисциплине занимает тема «Энергетический спектр электронов в кристалле», поскольку именно энергетическая структура носителей заряда обуславливает особенности физических процессов в полупроводниках, лежащие в основе функционирования элементов полупроводниковой электроники, микроэлектроники, оптоэлектроники и т.д. Ярким примером того, что особенности энергетического спектра электронов являются физической основой работы полупроводниковых приборов, может служить диод с междолинным переходом электронов (диод или генератор Ганна) [8].

Диоды Ганна обычно изготавливают на основе GaAs или InP-полупроводников. Элементы на основе эффекта Ганна перспективны при разработке интегральных модулей маломощных передатчиков и приемников. Они позволяют создавать генераторы и усилители СВЧ, а также такие функциональные устройства, как импульсно-кодовые модуляторы, компараторы, аналого-цифровые преобразователи, нейристорные линии задержки, полный ряд логических элементов, генераторы колебаний сложной формы, регистры сдвига и др.

Принцип действия диода Ганна, как известно [8], заключается в следующем. Энергетическая диаграмма полупроводника GaAs, построенная в пространстве квазиимпульсов (в \vec{k} -пространстве), имеет несколько минимумов (рис. 1). В зоне проводимости, кроме центральной долины с минимумом энергии, соответствующим нулевому значению волнового вектора $\vec{k} = 0$, имеются еще боковые долины, у которых минимумы энергии выше центрального на величину ΔE_g . Эффективные массы электронов в энергетических минимумах долин существенно различаются. Электроны, находящиеся на энергетических уровнях центрального минимума, называются легкими ($m_1^* = 0,072m_0$, где m_0 — масса свободного электрона, m^* — его эффективная масса), а электроны, расположенные в боковых минимумах, — тяжелыми ($m_2^* = 1,2m_0$). Так как подвижность носителей заряда определяется соотношением

$$\mu = \frac{q}{m^*} \langle \tau \rangle, \quad (1)$$

т.е. обратно пропорциональна m^* , то легкие электроны имеют высокую подвижность ($\mu_1 \approx (5-8) \cdot 10^3$ см²/В·с), а тяжелые — низкую ($\mu_2 \approx 100$ см²/В·с).

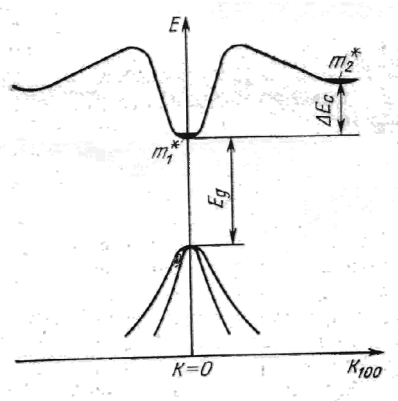


Рисунок 1. Структура энергетических зон арсенида галлия в кристаллографическом направлении [100] [8]

При малых напряженностях электрического поля в полупроводнике все электроны находятся в нижнем центральном энергетическом минимуме, и плотность тока через полупроводник определяется выражением

$$j_1 = qn\mu_1 E. \quad (2)$$

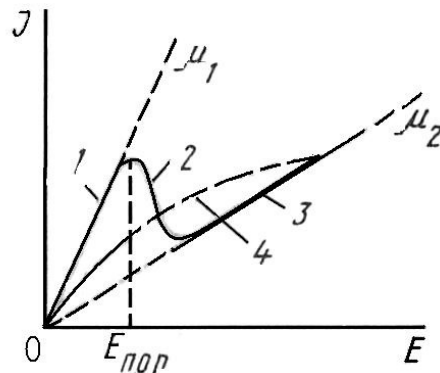
Как только у части электронов с ростом напряженности электрического поля появится энергия, превышающая ΔE_g , они смогут перейти в боковой минимум с малой подвижностью. Напряженность поля $E_{пор}$, при которой начинается такой переход, называют пороговой. При достижении напряженности электрического поля E_0 все электроны перейдут в боковой минимум, и плотность тока будет определяться выражением

$$j_2 = qn\mu_2 E_0. \quad (3)$$

Если выполняется неравенство $\mu_1 E_{пор} > \mu_2 E_0$, то, соответственно, $j_1 > j_2$, и с ростом E от $E_{пор}$ до E_0 произойдет уменьшение тока через полупроводник. Это означает, что на вольт-амперной характеристике появится участок с отрицательной дифференциальной проводимостью. Локальные флуктуации плотности заряда, нарастая, ведут к образованию электрического домена, перемещающегося в направлении тока со скоростью, близкой к скорости дрейфа электронов вне домена. Поле внутри домена зна-

чительно выше, а вне — ниже порогового. Поэтому выход домена в контактный электрод вызывает увеличение тока, после чего поле в образце снова становится выше порогового, и процесс повторяется. Частота колебаний тока обратно пропорциональна времени пролета домена через образец.

График зависимости плотности тока через полупроводниковый кристалл GaAs от напряженности электрического поля, приложенного вдоль направления [100] в кристалле, представлен на рисунке 2.



- 1 — при наличии электронов только с большой подвижностью μ_1 (в центральной долине);
 2 — переходной участок; 3 — при наличии электронов только с малой подвижностью $\mu_2 \ll \mu_1$ (в боковой долине); 4 — при наличии в кристалле локальных напряженностей, отличных от средней напряженности электрического поля

Рисунок 2. Зависимость плотности тока от напряженности электрического поля [5, 6]

Наличие на вольт-амперной характеристике полупроводника AsGa участка с отрицательной дифференциальной проводимостью, обусловленного особенностью энергетического спектра электронов, и является физической основой функционирования генератора Ганна.

Таким образом, особенности энергетического спектра электронов в полупроводниковых кристаллах могут служить физической основой функционирования полупроводниковых приборов.

В процессе изучения темы «Энергетический спектр электронов в кристалле» студентам предлагается самостоятельно или под руководством преподавателя решить ряд творческих задач, например: оценить границы применимости модельных представлений зонной теории, ответить на вопрос, почему представления о больцмановском переносе заряда неприменимы к материалам с малой подвижностью носителей, объяснить, возможно ли создание прибора, подобного генератору Ганна, на полупроводниках с другим типом зонной структуры и т.д.

С целью оказания методической помощи студентам при выполнении творческих заданий при изучении указанной темы авторами разработаны «Методические указания к проведению занятий СРСП (самостоятельной работы студентов под руководством преподавателя) по теме «Энергетический спектр электронов в кристалле» для студентов специальности «Техническая физика».

Поддержанию у студентов познавательного интереса к изучению дисциплины «Физическая электроника» способствует, на наш взгляд, проведение лекционных занятий с использованием компьютерной графики, наличие активного раздаточного материала, электронных курсов лекций, разработанных авторами.

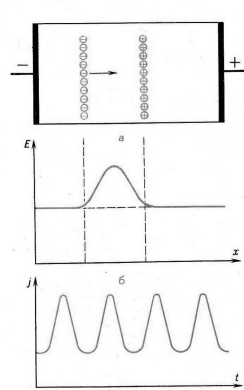
Для создания лекционных презентаций используются широко известное и распространенное приложение PowerPoint (версия 2003) Microsoft Office, которое позволяет создавать презентации с использованием богатой анимации. На слайдах можно изобразить формулы, схемы, рисунки, графики, вставить объемные изображения, использовать видеофрагменты, 3D-графику. Это приложение дает возможность показывать рисунки в движении, выделять формулы цветом и объемом, использовать всплывающие подсказки, стрелки, при необходимости использовать звук.

Авторами подготовлен графический материал по дисциплине «Физическая электроника» для специальности 050723 — «Техническая физика» на русском и казахском языках. Лекционный материал разбит на 15 лекций продолжительностью 50 минут, для каждой из которых разработано от 38 до 40 слайдов.

Каждая слайд-лекция включает тему, план изложения учебного материала, список рекомендуемой литературы, основные положения лекции и краткие текстовые комментарии. Основная часть

презентационного материала представлена схемами, чертежами, рисунками, импортированными из учебных пособий, справочников и другой доступной литературы, а также формулами. При этом большая часть схем, формул, чертежей анимирована. Временная последовательность построения изображения на экране соответствует темпу обычного построения иллюстративного материала на обычной меловой доске. Лектором осуществляется пошаговый вывод слайдов на экран, что помогает ему последовательно и логично раскрывать содержание каждой темы.

Эффект Ганна



Упрощенная схема образования и движения электрического домена (а); распределение электрического поля в полупроводнике (б) и форма колебаний плотности тока (в). Стрелкой указано направление дрейфа электронов

Рисунок 3. Упрощенная схема эффекта Ганна

При создании слайдов учитываются эргономические и методологические требования визуального восприятия информации [8,9].

Кроме того, слайд-лекция отличается еще рядом преимуществ. Прежде всего, это наличие визуально-психологического контакта с лектором, поскольку основным источником информации на лекции выступает преподаватель, а слайды подчинены логике лекции и помогают студентам воспринимать материал и вести конспект. Поскольку кроме слуховых образов студент воспринимает и яркие зрительные, увеличивается степень запоминания и усвоения материала. При этом презентационная лекция достаточно хорошо согласуется с основными закономерностями запоминания [10, 11].

На рисунке 3 изображена копия одного из слайдов из презентационной лекции, иллюстрирующего эффект Ганна.

Список литературы

- 1 Дидактика средней школы / Под ред. М.А.Данилова и М.Н.Скаткина. — М.: Просвещение, 1975.
- 2 Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся. — М.: Просвещение, 1975.
- 3 Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. — М.: Высш. шк., 1991.
- 4 Ханин С.Д., Хинич И.И. Физические основы курса электроники в педагогическом вузе // Физическое образование в вузах. — 2004. — Т. 10. — № 4. — С. 106–113.
- 5 Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. — Новосибирск, 2000.
- 6 Цидильковский И.М. Зонная структура полупроводников. — М.: Наука, 1978.
- 7 Кравченко А.Ф., Овсяк В.Н. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности. — Новосибирск: Изд. НГУ, 2000.
- 8 Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Сов. радио, 1980.
- 9 Загвязинский В.И. Теория обучения. Современная интерпретация. — М.: Изд. центр «Академия», 2001. — 192 с.
- 10 Стародубцев В.А., Чернов И.П. Разработка и практическое использование мультимедиа-средств на лекциях // Физическое образование в вузах. — 2002. — Т. 8. — № 1. — С. 86–91.
- 11 Стародубцев В.А. Компьютерные и мультимедийные технологии в естественнонаучном образовании. — Томск: Дельтаплан, 2002. — 223 с.
- 12 Андреев В.Н. Психологические аспекты представления информации на экране дисплея в автоматизированных обучающих системах. — М.: Академия, 1991. — 356 с.

Қ.Т.Ермағанбетов, Л.В.Чиркова

**Техника физикасы бакалаврларының дайындауда
шығармашылық дағдыларын қалыптастыру**

«Физикалық электроника» арнайы курсы негізінде техника физикасы бакалаврларын өз бетімен жұмыс істеуге үйрету әдістері талданып негізделген. Техника физикасы мамандығы бойынша оқитын студенттердің өзіндік жұмыс істеп үйренулерін қалыптастырудың ғылыми-методикалық әдістемесі ұсынылып, оны «Физикалық электроника» арнайы курсы оқыту барысында іске асыру мысал ретінде берілген. Бұл мәселені шешу барысында компьютерлердің алатын орны ерекше екендігі, «Жартылайөткізгіштердің энергия жолақтары» сияқты тақырыптарды оқытқанда студенттердің өз бетімен жұмыс істеу дағдыларын қалыптастыру мәселесін қалай шешуге болатындығы көрсетілген.

K. T. Ermaganbetov, L. V. Chirkova

Elements of creativity in education training bachelor of engineering physics

The method introduction of elements of creative instruction training to prepare graduations of technical physics was elaborated for examples of special course «Physics electronic». The complex of scientific systemic materials for teach scientific creative for on the bases was shown for students was teaching of special course. Some systemic questions of account of topic with standpoint practice-research instruction training was examined. The computer graphics was using for learning these theme. The depended study topic «Energy spectrum of electrons in semiconductor « for students was shown in this project.

Қ.М.Маханов

Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

Эксперименттік берілгендерге өңдеу және талдау жүргізу үшін LabVIEW графикалық программалау ортасын қолдану

LabVIEW мәліметтерді өңдеуге, талдауға және жинақтаумен қатар компьютердің көмегімен сыртқы қондырғыларды басқаруға арналған интерактивті программалық орта болып табылады. Мақалада LabVIEW ортасында өңделген программа ұсынылды, бұл бағдарлама органикалық молекулалардың ұзақ сәулеленуінің сөну кинетикасын өңдеуге арналған. Зерттеу объектісі ретінде жұқа шыны тәрізді хризен қабыршақтары таңдалды. Өңделген программаның көмегімен алынған нәтижелер әдебиеттердегі кездесетін мәліметтерге қайшы келмейтіні көрсетілген. Келтірілген нәтижелер анықтамалық берілгендер ретінде қолданылуға ұсынылуы мүмкін.

Кілмті сөздер: интерактивті бағдарламалық орта, компьютер, басқару, LabVIEW, қабықшалар, зерттеу нысаналары, органикалық молекулалар.

Кіріспе

Әдетте кез келген мәліметтерді, ғылыми эксперименттің нәтижелерін өңдеу немесе басқа күрделі математикалық есептеулер орындау үшін көп уақыт қажет. Математикалық модельдерді қолдану кезінде мәліметтерді өңдеу процесін үдету үшін жоғары деңгейлі тілдердің көмегімен, мысалы, Pascal, Delphi және т.б. арнайы программалар құрастырылады. Алайда бұл әдіс аталған тілдердің біреуінде жоғары дәрежеде программа құрастыруды талап етеді. Қаптаған айнымалыларды, тұрақтыларды, типтерді және т.б. есте сақтап білу қажеттілігі негізгі қиындылықты тудырады, сонымен қатар олар бір белгілі ретпен жазылуды талап етеді, оның өзі де, әрине, біршама уақыт алады.

Бұл жұмыста қолданбалы программаларды құрастыруға арналған LabVIEW ортасы (АҚШ, National Instruments өнімі) қолданылады, ол графикалық программалау тілі болып табылады және программа мәтіндерін жазуды талап етпейді [1].

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) өз тарапынан графикалық программалау ортасы болып табылады, оны өндірісте, білім саласында және ғылыми-зерттеу лабораторияларында мәліметтерді жинақтау және аспаптарды басқару үшін стандартты инструмент ретінде қолданады. LabVIEW — алынған мәліметтерді өлшеуге және талдауға арналған, мүмкіндіктері өте жоғары программалық орта.

Дербес компьютерлер, дәстүрлі аспаптарға қарағанда, мүмкіндіктері кең, жан-жақты инструмент болып танылады, сондықтан LabVIEW ортасында өз тарапынан программаны немесе *виртуалды аспапты* (ВА) құрастыру аса күрделі жұмыс емес, ал LabVIEW ортасының тұтынушылық интерфейсі өте қарапайым және жеңіл болғандықтан, бұл ортада программаны құрастыру өте қызықты және көңілді жұмысқа айналады.

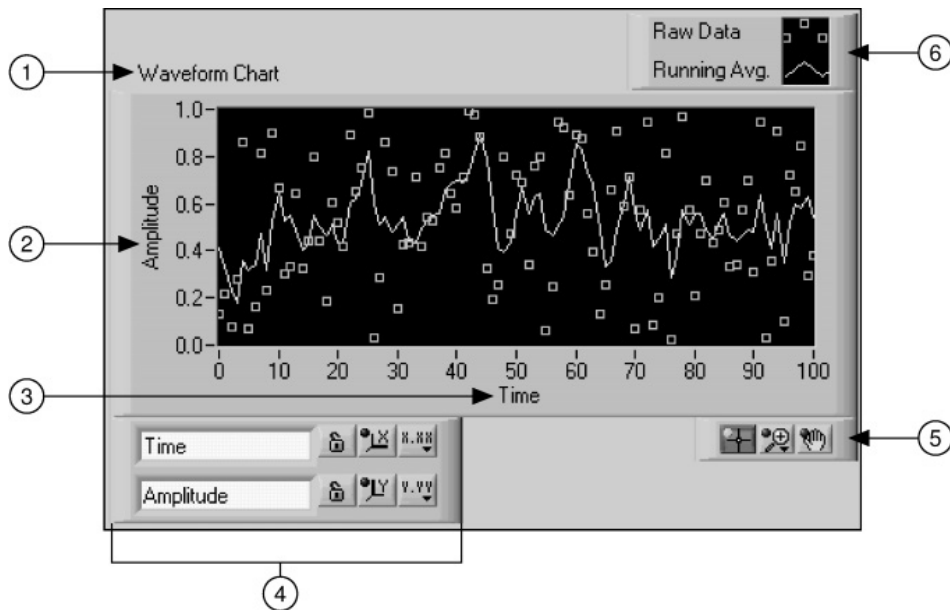
Дәстүрлі тілдердің тізбекті табиғатымен салыстыратын болсақ, LabVIEW концепциясының өзгешілігі көп, мұнда тұтынушыға өте қарапайым графикалық орта ұсынылады, мәліметтерді жинақтауға, оларды талдауға, алынған нәтижелерді бейнелеуге арналған барлық қажетті инструменттер жиынтығы бар. LabVIEW графикалық программалау тілінің көмегімен қойылған мәселені графикалық блок-диаграммадан программалауға болады, ол алгоритмді машина тіліне (машиналық код) ауыстырады. Ғылым және техника салаларында кеңінен қолданылатын программалық орта болғанымен, дәстүрлі программалық тілге қарағанда LabVIEW әр түрлі мәселелерді өте қысқа уақыт мерзімде жеңіл шешуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың мақсаты — LabVIEW жүйесінде органикалық қабыршақтардың сөну кинетикасын өңдеп, талдауға арналған программаны құрастыру.

Сөну кинетикасының берілгендерін өңдеуге арналған программаны құрастыру

Программаны құрастыру үшін кинетикалық қисықтарды есептеуге арналған математикалық модель таңдалды, ол Р.Копельман және оның қызметтестерінің жұмыстарында қарастырылған перколяциялық модель болды [2].

LabVIEW монитор экранына шығаруға арналған бірнеше әр түрлі графиктер және диаграммалар ұсынады [3]. Біз келесі графикалық түрді тандап алдық: *Waveform Chart*, ол 1-суретте келтірілген.



1 — графиктің аталуы (кез келген болуы мүмкін); 2, 3 — осьтердің белгіленуі.
Сәйкесінше, ыңғайы бойынша белгілуге болады; 4 — осьтерді басқару панелі (аталуы, қосу-сөндіру Autoscale және т.б.); 5 — бейнелерді басқару панелі (қозғалту, ығыстыру және т.б.);
6 — графиктер тізімі. Аталуы және түрі ыңғайы бойынша жөнделеді

1-сурет. *Waveform Chart* графикалық түрі

Қабылданған мәліметтерді *Waveform Chart* үш әр түрлі әдіс бойынша өндеуге мүмкіндік береді.

Waveform Chart скалярлы мәліметтерді шығарады (яғни, тек сандарды). Сондықтан бірдеңені графикке шығару үшін, оның терминалына қажетті объектіні қосу керек. Мәліметтерді үздіксіз қабылдау үшін, цикл құрастыруға болады (әдетте дәл осылай орындалады).

Waveform Graph графикті $y = f(x)$ типтес графикті бейнелеуге қызмет атқарады, мұнда x -тің әрбір мәніне тек бір ғана y шамасы сәйкес келеді. График y массив мәндерін бейнелейді, ал x осі бойынша мәндер біркелкі таралған. *XY graphs* (x, y) координаталары берілген кез келген нүктелер жиынтығын бейнелейді. Графиктің кірісіне нүктелік координаттарға ие екі өлшемді массив келтіріледі.

2-суретте LabVIEW ортасында жобаланған программалық код келтірілген. Бұл программа файлдардан мәліметтерді оқуға, оларды басқа форматты файлдарға жазуға, қажетті мәліметтер массивін бөліп алуға және олармен белгілі математикалық операциялар жүргізуге және т.б. мүмкіндіктер береді.

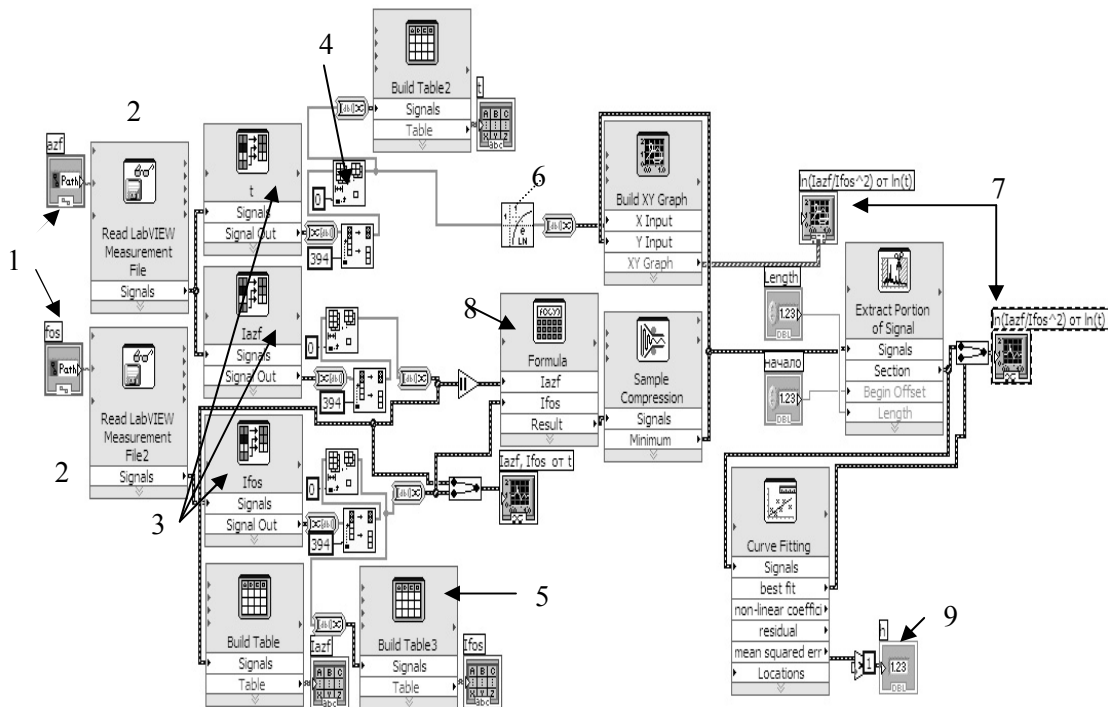
Программаны құрастырған кезде біз мәліметтер массиві ретінде хризен молекулаларының сөну кинетикасына қатысты мәліметтерді таңдадық, олар «***.dat» файлы түрінде сақталған болатын. Қарапайым функциялармен қатар LabVIEW қосымша, енгізу және шығару функцияларына ие, олар жалпы барлық енгізу және шығару операцияларын (*File I/O*) орындауға мүмкіндік береді.

Кез келген файлдан мәліметтерді енгізу үшін, файлдың орналасу «жолын» көрсету керек. Файлдық жүйелермен жұмыс атқарған кезде «жол» берілгендердің ерекше түрі болып табылады, ол файлдың орналасуын көрсетеді. Функция қосылған кезде файлды ашады, ондағы мәліметтерді оқиды, одан соң файлды жабады. Виртуалды аспаппен қалыптастырылған файл кәдімгі мәтінді файл ретінде болады. Мәліметтерді файлда сақтаудың ең таралған түрлерінің бірі мәтінді файлды форматтау болып табылады. Бұл өте ыңғайлы, себебі оны кестелермен жұмыс атқаратын кез келген программада ашуға болады.

Жоғарыда келтірілгеннен мұнда дәстүрлі программалау тілдеріне ұқсас функциялар қолданылатыны көрінеді:

– «Файлдағы жолды оқу» (*Read Lines From File*) функциясы файлдан берілген орыннан бастап қажетті жолдар санын оқиды;

– «Кестелік форматты файлға жазу» функциясы екі өлшемді немесе бір өлшемді сандар массивін мәтіндік жолға түрлендіреді, сонан соң жолды жаңа файлға жазады немесе бар файлға қосады.



- 1 — эксперименттік берілгендер орналасқан директорияға жол көрсетеді (файлға);
 2 — берілгендерді оқу блогі; 3 — берілгендер блогынан шығатын мәліметтерді фильтрлеу блогі;
 4 — массивтің бастапқы және соңғы интервалын бөледі; 5 — берілгендер массивін кестеге шығару блогі;
 6 — уақыттық массивтерді логарифмдеу блогі; 7 — графикалық индикатор;
 8 — формулаларды енгізу блогі; 9 — сандық индикатор

2-сурет

2-суретте келтірілген *блок-диаграммада* өңделген программаның түпкі графикалық коды келтірілген. LabVIEW блок-диаграммасы кәдімгі C немесе Basic программалау тілдеріндегі мәтіндерге сәйкес келеді — ол нақты орындалатын код. Блок-диаграмманы құрастыру үшін, белгілі бір функцияларды атқаратын объектілерді бір-бірімен қосу керек. Блок-диаграмма әр түрлі компоненттерден тұрады: *терминалдар* (terminals), *түйндер* (nodes) және *берілгендердің өткізгіштерімен* (wires), бұл компоненттердің функционалды мағыналарын тиянақты қарастыру бұл жұмыста мүмкін емес, сондықтан біз тек программаның жұмыс істеуін қарастырумен шектелеміз.

Программаны қосқан кезде («Run» кнопкасы) (2) файлдарды оқу блогі (1) директориясынан берілгендерді оқиды. Бір ескере кететіні, жұмыс істеуге болатын файлдар саны әр түрлі болуы мүмкін, яғни қойылған мақсатқа байланысты. Жұмыста барлық программа кодтары және нәтижелер нөмірленген және де түсіністік жеңіл болу үшін біз оларды блоктар деп атаймыз.

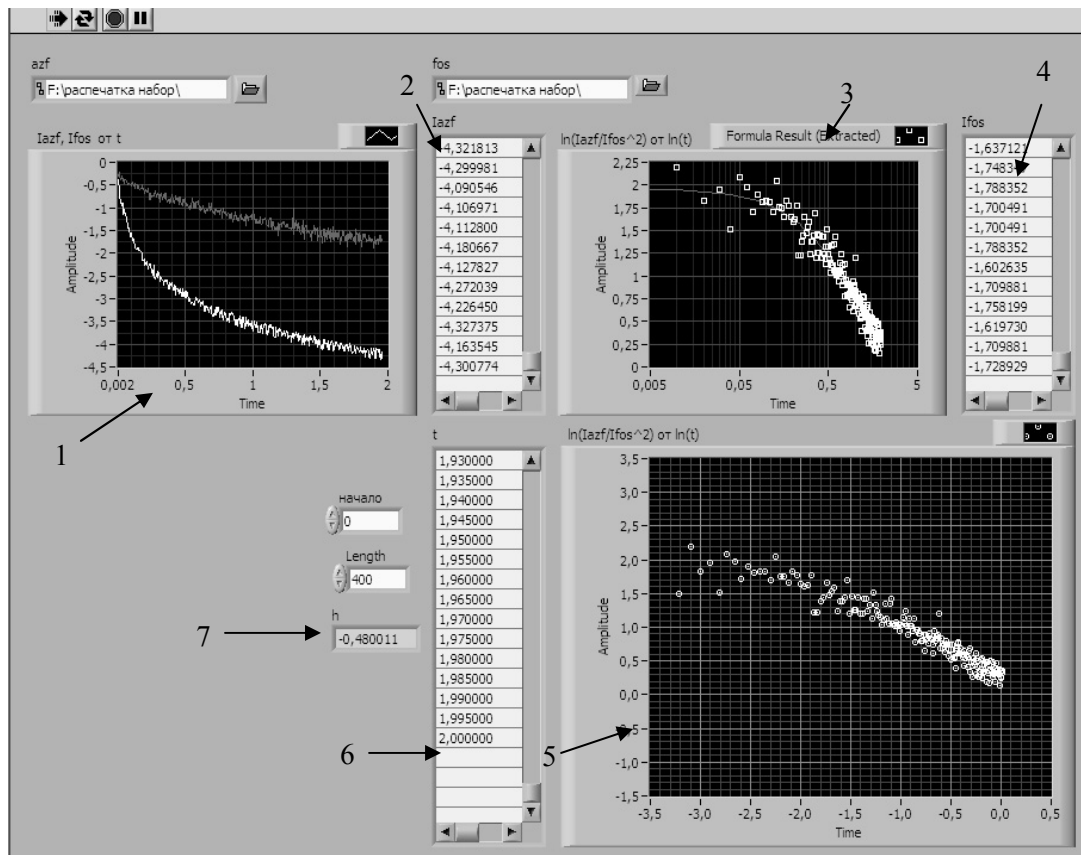
Әрі қарай мәліметтер «Read LabVIEW measurement File» блогімен қабылданады, мұнда берілгендер оқылады, одан соң 3 блоктағы «Signal» командасы берілгендерді графикалық сигнал түріне генерациялайды. Екі сигналды бір графикте шығару үшін **Merge Signals** (сол жақта келтірілген) функциясы қолданылды. Осы функцияның орындалу нәтижесінде экранға сигналдың графикалық бейнесі шығарылады, 3-суретте 1-графикалық индикатор. Сонымен қатар программа алдын ала берілген бұйрық (формула) бойынша мәліметтердің математикалық өңдеуін жүргізеді. Яғни, өңделетін мәліметтер 8 «Formula» блогіне ауыстырылады, ол 2-суретте келтірілген. 3-суретте алынған қисықтар бір ғана физикалық процесті сипаттайды, алайда біз қойылған мәселенің күрделігін сәл жоғарлаттық, нәтижесінде программа әр түрлі уақыт мезгілдеріне сәйкес келетін мәліметтерді өңдеуге мүмкіндік береді (3-сур., 3 және 5-индикаторлары).

Өңделген программаның сыртқы көрінісі 3-суретте келтірілген.

Программаны қосқан кезде алдымен Басты меню шығады. Жоғарыдағы сол жақта басқару кнопоклары орналасқан. Программаны қосу үшін «стрелка» кнопоксын басу керек. Программа циклдік тәртіпте жұмыс істеу үшін бір-біріне қарсы бағытталған «стрелкалар» кнопоксын қолдану қажет. Ортасы қызылмен боялған кнопка программаны жедел тоқтату қажет болғанда қолданылады. Төменде кестелік және графикалық индикаторлар орналасқан.

Файлмен жұмыс істеу процесі келесі ретпен орындалады:

- программа қосылған соң өңделетін файл таңдалады;
- «Run» немесе «Ctrl+R» клавишаларын қолдану арқылы таңдалған файл мәліметтерін өңдеу процесін қосуға болады.



- 1 — эксперимент соңында алынған сөну кинетикасының графигі; 2 — сөну кинетикасының бірінші блоктағы бастапқы берілгендері; 3 — 0–200 мкс диапазонында перколяциялық модель бойынша өңделген қисық; 4 — үшінші графикке сәйкес келетін мәліметтер; 5 — 0–2 мс диапазонында перколяциялық модель бойынша өңделген қисық; 6 — бесінші графикке сәйкес келетін мәліметтер; 7 — анықталатын h параметрінің шамасы

3-сурет. Программаның сыртқы көрінісі

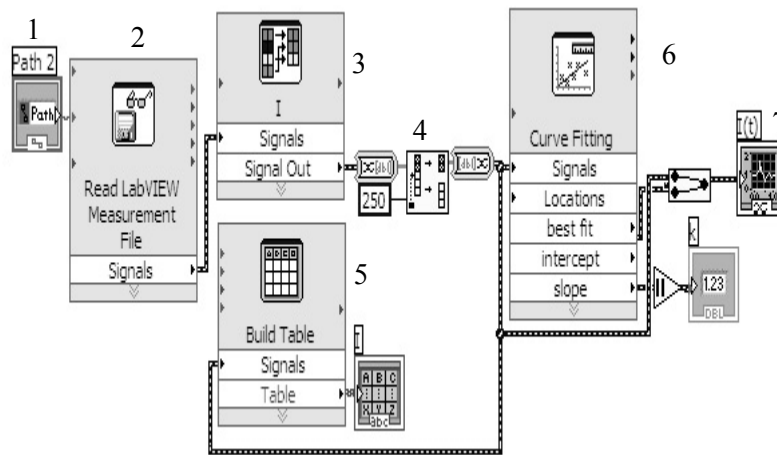
Бірінші графикалық индикаторда өлшенген бетте тіркелген хризеннің сөну кинетикасына сәйкес келетін қисықтар келтірілген. Екінші графикалық индикаторда сөну тәуелділігінің екі ретті логарифмдік түрі $\ln(I_{az}/I_{fos}^2) - \ln(t)$ келтірілген. Анықталатын біртектілік параметрінің шамасы арнайы түрде бейне терезесіне шығарылады, біздің жағдайымызда оның шамасы $h = 0,48$ болды. [4] жұмыста осы параметрді «Slude» графикалық редакторында, сөну кинетикасының түзу сызықты бөлігін таңдау арқылы есептеген, алынған шама $h = 0,49$ сәйкес келді. Ескеретін бір жағдай, анықталатын параметр шамасы зерттеу жүргізгендегі үлгінің температурасына тәуелді. Әдебиеттердегі мәліметтер бойынша, азот температурасына жақын температура кезінде біртектілік дәрежесі $h > 0,33$ шамасына сәйкес келеді, температура артқан сайын ортаның энергетикалық құрылымының біртектілік дәрежесі өседі, осыған сәйкес h параметрінің шамасы өзгереді. Біздің қолданған мәліметтеріміз 183 К кезіндегі температураларға сәйкес келеді.

Жоғарыда орналасқан графикалық индикаторда 0–200 мкс диапазонындағы екі ретті логарифмдік тәуелділік көрсетілген, төменгі индикатордағы қисық 0–2 мс, яғни толық сөнуге сәйкес келетін уақыт диапазонына қатысты.

LabVIEW ортасының ең жақсы қасиеттерінің бірі — дайын программаны «аса қиналмай», басқа мақсаттарға арналған программаға өзгерту мүмкіндігі. Өзгерту кезінде, басқа тілдердегідей, мәтінді жаңадан өңдеп, жазу қажеттілігі жоқ.

Программалаудың дәстүрлі тілдерінде дайын өнімді (программаны) іске қосып, онымен жұмыс істей алатындай мүмкіндік бірден болмайды, себебі программаны бірте-бірте түзету қажеттігі қайткен күнде туады, осының барлығы программаның өзін жазуға жұмсалған уақыттан артық уақыт болмаса да кем уақыт алмайды. LabVIEW ортасында программадағы қателіктер туралы мағлұматтар тікелей экранға шығарылады, және олар қателіктерді жөндеу бойынша ұсыныстармен қамтылған болады.

4-суретте файлдан мәліметтерді оқуға, тәуелділіктерді құрып, сызықты бөліктері бойынша тангенс бұрыштарын анықтауға мүмкіндік береді. Суреттен көрініп тұрғандай, программа құрылысы байқайтындай өзгеріске ұшыраған жоқ. Алғашқы программамен салыстырғанда мұнда «Formula» математикалық есептеу блогі және уақыттық берілгендерді бөлшектеуге арналған блок жоқ. Программаның қосылуы және оның жұмыс істеуі де алғашқыдан аса өзге емес.



- 1 — эксперименттік мәліметтер орналасқан директорияға (файлға) жол көрсетеді;
 2 — файлдан мәліметтерді оқу блогі; 3 — мәліметтер блогінен шыққан берілгендерді фильтрлеу блогі;
 4 — мәліметтер массивінің бастапқы және соңғы интервалын белгілейді; 5 — мәліметтерді кестеге шығару блогі; 6 — сызықтық бөлікті есептейтін блок; 7 — графикалық индикатор

4-сурет

Қорытынды

Әдебиеттерді талдау барысында біз LabVIEW ортасына деген қызығушылық соңғы бес-алты жылдарда ғана арта түскенін байқадық. Виртуалды аспаптарды құрастыру технологиясына арналған әр түрлі оқулықтардың, мақалалардың, кітаптардың және басқа жазбалардың саны артта түсті. Әр жыл сайын LabVIEW технологиясына арналған семинарлар және конференциялар өткізіледі, жаңа мүмкіндіктерге ие модульдар қосылып және жаңартылып жатыр.

Білім беру процесінде, университеттердің лабораториялық практикумдарында, әсіресе электротехника, радиотехника, механика және физика пәндері бойынша LabVIEW ортасының қолдануы жыл сайын артып келеді.

Кез келген бір шаманы өлшеп талдаған соң келесі логикалық тұрғыдан жасалатын қадам — ол басқару, яғни алынған нәтижелерге байланысты белгілі бір параметрлердің өзгертілуі. Мысалы, зерттеу объектісінің температурасын өлшеп, оны қыздыратын немесе суытатын құралды қосуға болады. LabVIEW осы мәселені шешу жолын жеңілдетеді: бұл программалық өнімнің негізгі функциясы — процестерді басқару және мониторинг жүргізу.

Орындалған жұмыс нәтижелерінен келесі қорытындылар жасалды.

1. Сөну кинетикасына қатысты эксперименттік мәліметтерді өңдеп, оларға талдау жүргізуге арналған программа жазылды.
 2. Жазылған программаның көмегімен жұқа қабыршақты хризен молекулаларының сөну кинетикасына талдау жүргізілді.
 3. Сөну кинетикасының әр түрлі уақыттық диапазондары үшін (0–200 мкс, 0–2 мс) ортаның біртектілік дәрежесін сипаттайтын h параметрі анықталды.
- Жұмыста алынған нәтижелер әдебиеттік берілгендерге қайшы келмейтіні дәлелденді.

Әдебиеттер тізімі

- 1 *Пейч Д.И., Точилин Д.А., Поллак Б.П.* LabView для новичков и специалистов. — М.: Горячая линия–Телеком, 2004.
- 2 *Копельман Р.* Перенос энергии в смешанных молекулярных кристаллах. Спектроскопия и динамика возбуждений в конденсированных молекулярных системах / Под ред. В.М.Аграновича и Р.М.Хохштрассера. — М.: Наука, 1987.
- 3 *Клементьев Е.К.* Основы графического программирования в среде LabView: Учеб. пособие. — Самара: Самарск. гос. аэрокосм. ун-т, 2002.
- 4 *Ибраев Н.Х., Маханов К.М.* Миграция триплетных возбуждений в тонких пленках органических люминофоров // Вестн. КазНУ. — Алматы, 2003. — № 2(15). — С. 62–67.

К.М.Маханов

Использование графической программной среды LabVIEW при анализе и обработке экспериментальных данных

LabVIEW является интерактивной программной средой, предназначенной для сбора, анализа и обработки данных, а также для управления внешними установками с помощью компьютера. В работе представлена программа, разработанная в среде LabVIEW, которая предназначена для обработки кинетики затухания длительного излучения органических молекул. Объектами исследования выбраны тонкие стеклообразные пленки хризена. Показано, что результаты, полученные с помощью разработанной программы, хорошо согласуются с литературными данными. Представленные в работе результаты могут быть рекомендованы к использованию в качестве справочных данных.

K.M.Makhanov

Application of LabVIEW graphical programming environment for analysis and processing of experimental data.

LabVIEW is an interactive software environment designed for the collection, analysis and data processing, as well as to control external units using a computer. The paper presents a program developed in the environment of LabVIEW, the program is designed to handle long emission decay kinetics of organic molecules. The objects of study selected thin glassy film chrysene. It is shown that the results obtained using the developed program in good agreement with literature data. Presented in the results can be recommended for use as reference data.

АВТОРЛАР ТУРАЛЫ МӘЛІМЕТТЕР СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Айтпаева З.К.** — доцент кафедры инженерной теплофизики им. Ж.С.Акылбаева к.х.н., Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Афанасьев Д.А.** — докторант PhD, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Дюсенбаева М.С.** — инженер кафедры инженерной теплофизики им. Ж.С.Акылбаева, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Ермаганбетов К.Т.** — профессор кафедры радиофизики и электроники к.ф.-м.н., доцент, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Жарекешев И.Х.** — вед. научн. сотр. лаборатории микро- и оптоэлектроники к.ф.-м.н., НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль Фараби, Алматы.
- Ибраев Н.Х.** — профессор кафедры спектроскопии конденсированного состояния д.ф.-м.н., Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Исембергенов Н.Т.** — доцент к.ф.-м.н., Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева, Алматы.
- Ким Л.М.** — профессор кафедры спектроскопии конденсированного состояния д.ф.-м.н., Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Кусайынов К.** — зав. кафедрой инженерной теплофизики им. Ж.С.Акылбаева д.т.н., профессор, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Маханов Қ.М.** — доцент ф.-м.ғ.к., Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті.
- Нусупбеков Б.Р.** — доцент кафедры инженерной теплофизики им. Ж.С.Акылбаева к.т.н., Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Омаров Н.Н.** — инженер кафедры инженерной теплофизики им. Ж.С.Акылбаева, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Оспанова Д.А.** — ст. преподаватель кафедры инженерной теплофизики им. Ж.С.Акылбаева, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Саденова К.К.** — магистрант, Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті.
- Сакипова С.Е.** — доцент кафедры общей и теоретической физики к.ф.-м.н., Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Салькеева А.К.** — ст. преподаватель к.ф.-м.н., Карагандинский государственный технический университет.
- Тулегулов А.Д.** — доцент кафедры спектроскопии конденсированного состояния к.ф.-м.н., Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Турмухамбетова Е.Т.** — доцент к.ф.-м.н. Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева, Алматы.
- Хасенов А.К.** — магистрант кафедры инженерной теплофизики им. Ж.С.Акылбаева, Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.
- Чиркова Л.В.** — доцент к.ф.-м.н., Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова.