

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

1 (299)

**ҚАҢТАР – АҚПАН 2015 ж.
ЯНВАРЬ – ФЕВРАЛЬ 2015 г.
JANUARY – FEBRUARY 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

Мұтанов Г. М.

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

Г. М. Мутанов

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

G. M. Mutanov,
academician of NAS RK

Editorial board:

A.A. Ashimov, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

I.N. Vishnievski, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.
ISSN 1991-346X

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 5 – 13

BINARY CONVEXITY RANK IN WEAKLY O-MINIMAL STRUCTURES

B. Sh. Kulpeshov

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: b.kulpeshov@iitu.kz

Key words: weak o-minimality, countable categoricity, convexity rank, orthogonality of types, unary function.

Abstract. In this work countably categorical weakly o-minimal structures are studied. A criterion for equality of the binary convexity ranks of non-weakly orthogonal types in terms of behavior of a unary function has been obtained.

УДК 510.67

БИНАРНЫЙ РАНГ ВЫПУКЛОСТИ В СЛАБО О-МИНИМАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

Б. Ш. Кулпешов

Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: слабая о-минимальность, счетная категоричность, ранг выпуклости, ортогональность типов, унарная функция.

Аннотация. В настоящей работе исследуются счетно-категоричные слабо о-минимальные структуры. Найден критерий равенства бинарных рангов выпуклости не слабо ортогональных типов в терминах поведения унарной функции.

1. Предварительные сведения.

Настоящая работа касается понятия слабой о-минимальности, первоначально глубоко исследованного Д. Макферсоном, Д. Маркером и Ч. Стейнхорном в [1]. Подмножество A линейно упорядоченной структуры M называется *выпуклым*, если для любых $a, b \in A$ и $c \in M$ всякий раз, когда $a < c < b$ мы имеем $c \in A$. Слабо о-минимальной структурой называется линейно упорядоченная структура $M = \langle M, =, <, \dots \rangle$ такая, что любое определенное (с параметрами) подмножество структуры M является объединением конечного числа выпуклых множеств в M . Вспомним, что такая структура M называется *о-минимальной*, если каждое определенное (с параметрами) подмножество структуры M является объединением конечного числа интервалов и точек в M . Таким образом, слабая о-минимальность является обобщением о-минимальности.

Определение 1.1. [2] Пусть T – слабо о-минимальная теория, M – достаточно насыщенная модель теории T , и пусть $\phi(x, \bar{a}), \bar{a} \in M$ – произвольная формула с одной свободной переменной.

Ранг выпуклости формулы $\phi(x, \bar{a})$ ($RC(\phi(x, \bar{a}))$) определяется следующим образом:

1) $RC(\phi(x, \bar{a})) \geq 0$, если $M \models \exists x \phi(x, \bar{a})$.

2) $RC(\phi(x, \bar{a})) \geq 1$, если $\phi(M, \bar{a})$ бесконечно.

3) $RC(\phi(x, \bar{a})) \geq \alpha + 1$, если существует параметрически определяемое отношение эквивалентности $E(x, y)$ такое, что существуют $b_i, i \in \omega$, которые удовлетворяют следующему:

– Для любых $i, j \in \omega$, всякий раз, когда $i \neq j$ мы имеем $M \models \neg E(b_i, b_j)$

– Для каждого $i \in \omega$ $RC(E(x, b_i)) \geq \alpha$ и $E(M, b_i)$ – выпуклое подмножество множества $\phi(M, \bar{a})$

4) $RC(\phi(x, \bar{a})) \geq \delta$, если $RC(\phi(x, \bar{a})) \geq \alpha$ для всех $\alpha \leq \delta$ (δ предельный).

Если $RC(\phi(x, \bar{a})) = \alpha$ для некоторого α , то мы говорим, что $RC(\phi(x, \bar{a}))$ определяется. В противном случае (т.е. если $RC(\phi(x, \bar{a})) \geq \alpha$ для всех α), мы полагаем $RC(\phi(x, \bar{a})) = \infty$.

Определение 1.2. (Байжанов Б.С., [3]) Пусть M – слабо о-минимальная структура, $A, B \subseteq M$, $M - |A|^+$ -насыщенна, $p, q \in S_1(A)$ – неалгебраические. Будем говорить, что тип p не является слабо ортогональным типу q , если существуют A -определимая формула $H(x, y), \alpha \in p(M)$ и $\beta_1, \beta_2 \in q(M)$ такие что $\beta_1 \in H(M, \alpha)$ и $\beta_2 \notin H(M, \alpha)$.

Лемма 1.3. ([3], Corollary 34 (iii)) Отношение неслабой ортогональности 1-типов является отношением эквивалентности на $S_1(A)$.

Вспомним некоторые понятия, первоначально введенные в [1]. Пусть $Y \subset M^{n+1}$ – \emptyset -определимо, пусть $\pi : M^{n+1} \rightarrow M^n$ – проекция, которая отбрасывает последнюю координату, и пусть $Z := \pi(Y)$. Для каждого $\bar{a} \in Z$ пусть $Y_{\bar{a}} := \{y : (\bar{a}, y) \in Y\}$. Предположим, что для каждого $\bar{a} \in Z$ множество $Y_{\bar{a}}$ ограничено сверху, но не имеет супремума в M . Пусть \sim – \emptyset -определимое отношение эквивалентности на M^n , определяемое следующим образом:

$$\bar{a} \sim \bar{b} \text{ для всех } \bar{a}, \bar{b} \in M^n \setminus Z, \text{ и } \bar{a} \sim \bar{b} \Leftrightarrow \sup Y_{\bar{a}} = \sup Y_{\bar{b}}, \text{ если } \bar{a}, \bar{b} \in Z$$

Пусть $\bar{Z} := Z / \sim$, и для каждого кортежа $\bar{a} \in Z$ мы обозначаем через $[\bar{a}]$ \sim -класс кортежа \bar{a} .

Существует естественный \emptyset -определимый линейный порядок на $M \cup \bar{Z}$, определяемый следующим образом. Пусть $\bar{a} \in Z$ и $c \in M$. Тогда $[\bar{a}] < c$ тогда и только тогда, когда $w < c$ для всех $w \in Y_{\bar{a}}$. Если кортежи \bar{a} и \bar{b} не эквивалентны относительно \sim , то существует некоторый $x \in M$ такой, что $[\bar{a}] < x < [\bar{b}]$ или $[\bar{b}] < x < [\bar{a}]$, и поэтому $<$ индуцирует линейный порядок на $M \cup \bar{Z}$. Мы называем такое множество \bar{Z} сортом (в данном случае, \emptyset -определимым сортом) в \bar{M} , где \bar{M} – Дедекиндово пополнение структуры M , и обозреваем \bar{Z} как естественно вложенную в \bar{M} . Аналогично мы можем получить сорт в \bar{M} , рассматривая инфимумы вместо супремумов.

Определение 1.4. [1] Пусть M – линейно упорядоченная структура, $D \subseteq M$ – бесконечно, $K \subseteq \bar{M}$, $f : D \rightarrow K$ – функция. Будем говорить, что f является локально возрастающей (локально убывающей, локально константой) на D , если для любого $x \in D$ существует бесконечный интервал $J \subseteq D$, содержащий x , так что f является строго возрастающей (строго убывающей, константой) на J .

Будем также говорить, что функция f является *локально монотонной* на множестве $D \subseteq M$, если f является либо локально возрастающей, либо локально убывающей на D .

Пусть f – A -определимая функция на $D \subseteq M$, E – A -определимое отношение эквивалентности на D . Мы говорим, что f – *строго возрастающая (убывающая)* на D/E , если для любых $a, b \in D$ с условием $\neg E(a, b)$ мы имеем $f(a) < f(b)$ ($f(a) > f(b)$).

Определение 1.5. (Вербовский В.В., [4, 5]) Пусть M – слабо о-минимальная структура, B , $D \subseteq M$, $A \subseteq \bar{M}$ – B -определимый сорт и $f : D \rightarrow A$ – B -определимая функция, являющаяся локально возрастающей (убывающей) на D . Будем говорить, что функция f имеет *глубину n* на множестве D , если существуют отношения эквивалентности $E_1(x, y), \dots, E_n(x, y)$, разбивающие D на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, так что для любого $2 \leq i \leq n$ каждый E_i -класс разбивается на бесконечное число бесконечных выпуклых E_{i-1} -подклассов и выполняется следующее:

- f является строго возрастающей (убывающей) на каждом E_1 -классе
- f является локально убывающей (возрастающей) на D/E_k для любого нечетного $k \leq n$
- f является локально возрастающей (убывающей) на D/E_k для любого четного $k \leq n$
- f является строго монотонной на D/E_n .

В этом случае функцию f будем называть *локально возрастающей (убывающей) глубины n* .

Очевидно, что строго возрастающая (убывающая) функция является *локально возрастающей (убывающей) глубины 0*.

Теорема 1.6. (Вербовский В.В., [5]) Пусть T – слабо о-минимальная теория. Тогда любая функция в определимый сорт имеет конечную глубину.

Мы естественным образом расширяем Определение 1.5, вводя понятие *локально константной функции глубины n* , если в Определении 1.5 функция f является константой на каждом E_1 -классе. Заметим, что в этом случае функция f может быть как локально возрастающей, так и локально убывающей на D/E_1 . В нижеследующих примерах M – счетно категоричная слабо о-минимальная структура, а функция f является локально константой.

Пример 1.7. (Example 2.6.1, [1]) Пусть $M = \langle M, <, P_1^1, P_2^1, f^1 \rangle$ – линейно упорядоченная структура, так что M есть непересекающееся объединение интерпретаций унарных предикатов P_1 и P_2 , при этом $P_1(M) < P_2(M)$. Мы отождествляем интерпретацию P_2 с Q , упорядоченной как обычно, а P_1 с $Q \times Q$, упорядоченной лексикографически. Символ f интерпретируется частичной унарной функцией с $Dom(f) = P_1(M)$ и $Range(f) = P_2(M)$ и определяется посредством $f((n, m)) = n$ для всех $(n, m) \in Q \times Q$.

Пусть $p := \{P_1(x)\}$, $q := \{P_2(x)\}$. Очевидно, что $p, q \in S_1(\emptyset)$. Возьмем произвольный $a \in p(M)$. Тогда существует единственный $b \in q(M)$ такой, что $f(a) = b$, т.е. $b \in dcl(\{a\})$.

Рассмотрим следующую формулу:

$$E(x, y) := P_1(x) \wedge P_1(y) \wedge \exists z [P_2(z) \wedge f(x) = z \wedge f(y) = z]$$

Можно понять, что $E(x, y)$ – \emptyset -определимое отношение эквивалентности, разбивающее $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов. Утверждаем, что f – локально константа глубины 1 на $P_1(M)$, т.е. f – константа на каждом E -классе и f – строго возрастающая на $P_1(M)/E$.

Пример 1.8. Пусть $M = \langle M, <, P_1^1, P_2^1, E_1^p, E_2^p, E_1^q, f^1 \rangle$ – линейно упорядоченная структура, так что M есть непересекающееся объединение интерпретаций унарных предикатов P_1 и P_2 , при

этом $P_1(M) < P_2(M)$. Мы отождествляем интерпретацию P_1 с $Q \times Q \times Q$, упорядоченной лексикографически, а P_2 с $Q \times Q$, также упорядоченной лексикографически. Интерпретации бинарных предикатов $E_1^p(x, y)$ и $E_2^p(x, y)$ – это отношения эквивалентности на $P_1(M)$ такие, что для всех $x = (n_1, m_1, l_1), y = (n_2, m_2, l_2) \in Q \times Q \times Q$ $E_1^p(x, y) \Leftrightarrow n_1 = n_2 \wedge m_1 = m_2$ и $E_2^p(x, y) \Leftrightarrow n_1 = n_2$. Аналогично определяется интерпретация бинарного предиката $E_1^q(x, y)$: это отношение эквивалентности на $P_2(M)$ такое, что для всех $x = (n_1, m_1), y = (n_2, m_2) \in Q \times Q$

$$E_1^q(x, y) \Leftrightarrow n_1 = n_2$$

Символ f интерпретируется частичной унарной функцией с $Dom(f) = P_1(M)$ и $Range(f) = P_2(M)$ и определяется посредством $f((n, m, l)) = (-n, m)$ для всех $(n, m, l) \in Q \times Q \times Q$.

Утверждаем, что функция f является локально константой глубины 2 на $P_1(M)$, т.е. f – константа на каждом E_1^p -классе, f – строго возрастающая на каждом $E_2(a, M)/E_1$, где $a \in p(M)$, и f – строго убывающая на $p(M)/E_2$.

Если в Примере 1.8 f определить следующим образом: $f((n, m, l)) = (n, -m)$ для всех $(n, m, l) \in Q^3$, то получим, что f – локально константа глубины 2 на $P_1(M)$, при этом f – константа на каждом E_1^p -классе, f – строго убывающая на каждом $E_2(a, M)/E_1$, где $a \in p(M)$, и f – строго возрастающая на $p(M)/E_2$.

Если же в Примере 1.8 f определить следующим образом: $f((n, m, l)) = (-n, -m)$ для всех $(n, m, l) \in Q^3$, то получим, что f – локально константа глубины 1 на $P_1(M)$, при этом f – константа на каждом E_1^p -классе и f – строго убывающая на $p(M)/E_1$.

Пример 1.9. Пусть $M = \langle M, <, P_1^1, P_2^1, E_1^p, E_2^p, \dots, E_{n-1}^p, E_1^q, E_2^q, \dots, E_{k-1}^q, f^1 \rangle$ (где $k < n$) – линейно упорядоченная структура, так что M есть непересекающееся объединение интерпретаций унарных предикатов P_1 и P_2 , при этом $P_1(M) < P_2(M)$. Мы отождествляем интерпретацию P_1 с Q^n , упорядоченной лексикографически, а P_2 с Q^k , также упорядоченной лексикографически. Интерпретации бинарных предикатов $E_1^p(x, y), \dots, E_{n-1}^p(x, y)$ – это отношения эквивалентности на $P_1(M)$ такие, что для всех $x = (x_1, x_2, \dots, x_n), y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \in Q^n$ и для любого $1 \leq i \leq n-1$

$$E_i^p(x, y) \Leftrightarrow x_1 = y_1 \wedge \dots \wedge x_{n-i} = y_{n-i}$$

Аналогично определяются интерпретации бинарных предикатов $E_1^q(x, y), \dots, E_{k-1}^q(x, y)$: это отношения эквивалентности на $P_2(M)$ такие, что для всех $x = (x_1, x_2, \dots, x_k), y = (y_1, y_2, \dots, y_k) \in Q^k$ и для любого $1 \leq i \leq k-1$

$$E_i^q(x, y) \Leftrightarrow x_1 = y_1 \wedge \dots \wedge x_{k-i} = y_{k-i}$$

Символ f интерпретируется частичной унарной функцией с $Dom(f) = P_1(M)$ и $Range(f) = P_2(M)$ и определяется посредством

$$f((x_1, x_2, \dots, x_n)) = ((-1)^{k-1} x_1, (-1)^{k-2} x_2, \dots, (-1)^2 x_{k-2}, (-1)^1 x_{k-1}, x_k)$$
 для всех $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in Q^n$.

Очевидно, что $E_1^p(a, M) \subset E_2^p(a, M) \subset \dots \subset E_{n-1}^p(a, M)$ для всех $a \in P_1(M)$ и $E_1^q(b, M) \subset E_2^q(b, M) \subset \dots \subset E_{n-1}^q(b, M)$ для всех $b \in P_2(M)$. Утверждаем, что f – локально константа глубины k на $P_1(M)$, т.е. f – константа на каждом E_{n-k}^p -классе, f – строго

возрастающая на каждом $E_{n-k+1}^p(a, M) / E_{n-k}^p$, f – строго убывающая на каждом $E_{n-k+2}^p(a, M) / E_{n-k+1}^p, \dots$. И наконец, если $n-k$ – нечетное, то f – строго убывающая на $P_1(M) / E_{n-1}^p$; если же $n-k$ – четное, то f – строго возрастающая на $P_1(M) / E_{n-1}^p$.

2. Результаты.

Определение 2.1. [6] Рангом выпуклости 1-типа p ($RC(p)$) называется инфимум множества $\{RC(\phi(x)) \mid \phi(x) \in p\}$, т.е. $RC(p) := \inf\{RC(\phi(x)) \mid \phi(x) \in p\}$.

В Примере 1.7 имеем p не слабо ортогонален q , $dcl(\{a\}) \cap q(M) \neq \emptyset$ и $dcl(\{b\}) \cap p(M) = \emptyset$ для некоторых (любых) $a \in p(M), b \in q(M)$, $RC(p) = 2, RC(q) = 1$.

Ранг выпуклости произвольной одноместной формулы $\phi(x)$ назовем *бинарным* и будем обозначать через $RC_{bin}(\phi(x))$, если в Определении 1.1 параметрически определяемые отношения эквивалентности заменим на \emptyset -определимые (т.е. бинарные) отношения эквивалентности. Тогда очевидно, что в произвольной счетно категоричной слабо о-минимальной теории бинарный ранг выпуклости одноместной формулы конечен. Следовательно, для любого неалгебраического 1-типа $p \in S_1(\emptyset)$ выполняется $RC_{bin}(p) < \omega$.

Теорема 2.2. Пусть T – счетно категоричная слабо о-минимальная теория, $M \models T$, $p, q \in S_1(\emptyset)$ – неалгебраические, p не слабо ортогонален q , $dcl(\{a\}) \cap q(M) \neq \emptyset$ для некоторого $a \in p(M)$.

Тогда следующие условия эквивалентны:

- (1) $RC_{bin}(p) > RC_{bin}(q)$
- (2) Не существует \emptyset -определимой функции $f : p(M) \rightarrow q(M)$, являющейся биекцией $p(M)$ на $q(M)$
- (3) $dcl(\{b\}) \cap p(M) = \emptyset$ для любого $b \in q(M)$
- (4) Существует \emptyset -определимая функция $f : p(M) \rightarrow q(M)$, являющаяся локально константой на $p(M)$.

Доказательство Теоремы 2.2. Пусть для определенности $RC_{bin}(p) = n$. Тогда существуют \emptyset -определимые отношения эквивалентности $E_1(x, y), \dots, E_{n-1}(x, y)$, разбивающие $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, так что $E_1(a, M) \subset \dots \subset E_{n-1}(a, M)$ для некоторого (любого) $a \in p(M)$.

(1) \Rightarrow (2). Допустим противное: существует \emptyset -определимая функция $f : p(M) \rightarrow q(M)$, являющаяся биекцией $p(M)$ на $q(M)$. Рассмотрим следующие формулы:

$$E'_1(x, y) := U_q(x) \wedge U_q(y) \wedge \exists t_1 \exists t_2 [U_p(t_1) \wedge U_p(t_2) \wedge E_1(t_1, t_2) \wedge f(t_1) = x \wedge f(t_2) = y]$$

$$\dots \dots \dots$$

$$E'_{n-1}(x, y) := U_q(x) \wedge U_q(y) \wedge \exists t_1 \exists t_2 [U_p(t_1) \wedge U_p(t_2) \wedge E_{n-1}(t_1, t_2) \wedge f(t_1) = x \wedge f(t_2) = y]$$

Очевидно, что $E'_1(x, y), \dots, E'_{n-1}(x, y)$ – отношения эквивалентности, разбивающие $q(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, причем $E'_1(b, M) \subset \dots \subset E'_{n-1}(b, M)$, откуда $RC_{bin}(q) \geq n$, противоречия условию.

(2) \Rightarrow (3). Поскольку $dcl(\{a\}) \cap q(M) \neq \emptyset$, то существуют $b \in q(M)$ и \emptyset -определимая формула $\phi(x, y)$ такие, что $M \models \exists! y \phi(a, y) \wedge \phi(a, b)$. Допустим противное: $dcl(\{b\}) \cap p(M) \neq \emptyset$. Поймем, что $a \in dcl(\{b\})$. Если это не так, то существует $a_1 \in p(M)$ такой, что $a_1 \neq a$ и $a_1 \in dcl(\{b\})$. Но тогда поскольку $b \in dcl(\{a\})$, мы имеем что $a_1 \in dcl(\{a\})$. Тогда можно доказать, что $dcl(\{a\})$ бесконечно, противоречия счетной категоричности. Таким

образом, $a \in dcl(\{b\})$. Но тогда существует \emptyset -определимая формула $\phi'(x, y)$ такая, что $M \models \exists! y \phi'(a, y) \wedge \exists! x \phi'(x, b) \wedge \phi'(a, b)$.

Определим функцию f следующим образом: $f(a) = b \Leftrightarrow \phi'(a, b)$. Нетрудно понять, что f биективно отображает $p(M)$ на $q(M)$, противореча нашему предположению.

(3) \Rightarrow (4). Допустим противное: $f : p(M) \rightarrow q(M)$ – \emptyset -определимая функция и f не является локально константой на $p(M)$. Тогда f должна быть локально монотонной на $p(M)$, т.е. либо локально возрастающей, либо локально убывающей. Но тогда f биективно отображает $p(M)$ на $q(M)$, противореча ранее доказанному.

(4) \Rightarrow (1). Пусть $f : p(M) \rightarrow q(M)$ – \emptyset -определимая функция, являющаяся локально константой на $p(M)$. Рассмотрим следующую формулу:

$$E(x, y) := U_q(x) \wedge U_q(y) \wedge [x < y \rightarrow \forall t(x < t < y \rightarrow f(x) = f(t) = f(y)] \wedge \\ \wedge [x > y \rightarrow \forall t(x > t > y \rightarrow f(x) = f(t) = f(y)]$$

Нетрудно понять, что $E(x, y)$ – отношение эквивалентности, разбивающее $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов.

Очевидно, что для некоторого $1 \leq i \leq n-1$ $E(x, y) \equiv E_i(x, y)$. Тогда утверждаем, что $RC_{bin}(q) = n - i$. Действительно, f является константой на каждом E_i -классе. Далее рассмотрим поведение функции f на каждом $E_{i+1}(a, M)/E_i$, где $a \in p(M)$. Она должна быть строго монотонной на каждом $E_{i+1}(a, M)/E_i$, иначе появится \emptyset -определимое отношение эквивалентности $\bar{E}(x, y)$ такое, что $E_i(a, M) \subset \bar{E}(a, M) \subset E_{i+1}(a, M)$, противореча тому, что E_{i+1} является непосредственным последователем отношения E_i среди всех \emptyset -определимых отношений на $p(M)$. Аналогично доказывается, что f является строго монотонной на каждом $E_{k+1}(a, M)/E_k$, где $i \leq k \leq n-2$ и f является строго монотонной на $p(M)/E_{n-1}$.

Рассмотрим следующие формулы:

$$E'_{i+1}(x, y) := U_q(x) \wedge U_q(y) \wedge \exists t_1 \exists t_2 [U_p(t_1) \wedge U_p(t_2) \wedge E_{i+1}(t_1, t_2) \wedge f(t_1) = x \wedge f(t_2) = y]$$

.....

$$E'_{n-1}(x, y) := U_q(x) \wedge U_q(y) \wedge \exists t_1 \exists t_2 [U_p(t_1) \wedge U_p(t_2) \wedge E_{n-1}(t_1, t_2) \wedge f(t_1) = x \wedge f(t_2) = y]$$

Очевидно, что $E'_{i+1}(x, y), \dots, E'_{n-1}(x, y)$ – отношения эквивалентности, разбивающие $q(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, причем $E'_{i+1}(b, M) \subset \dots \subset E'_{n-1}(b, M)$, откуда $RC_{bin}(q) \geq n - i$. Далее, если существует \emptyset -определимое отношение эквивалентности $E^q(x, y)$, разбивающее $q(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, причем $E^q(b, M) \subset E'_{i+1}(b, M)$, то рассмотрим следующую формулу:

$$\hat{E}(x, y) := U_p(x) \wedge U_p(y) \wedge \exists t_1 \exists t_2 [U_q(t_1) \wedge U_q(t_2) \wedge E^q(t_1, t_2) \wedge f(x) = t_1 \wedge f(y) = t_2]$$

Очевидно, что $E_i(a, M) \subset \hat{E}(a, M) \subset E_{i+1}(a, M)$, опять противореча тому, что E_{i+1} является непосредственным последователем отношения E_i среди всех \emptyset -определимых отношений на $p(M)$. Аналогично доказывается, что не существует \emptyset -определимого отношения эквивалентности $E^q(x, y)$, разбивающего $q(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, причем $E'_k(b, M) \subset E^q(b, M) \subset E'_{k+1}(b, M)$ для любого $i+1 \leq k \leq n-2$ или $E'_{n-1}(b, M) \subset E^q(b, M)$. Таким образом, $RC_{bin}(q) = n - i$. \square

Далее понадобится понятие (p_1, p_2) -сектора, введенное в [6]. Пусть $A \subseteq M, p_1, p_2 \in S_1(A)$ – неалгебраические, p_1 не слабо ортогонален p_2 . Мы говорим что A -определимая формула $\phi(x, y)$ является (p_1, p_2) -секатором, если существует $a \in p_1(M)$ такой, что $\phi(a, M) \subset p_2(M)$, $\phi(a, M)$ выпукло и $\phi(a, M)^- = p_2(M)^-$. Если $\phi_1(x, y), \phi_2(x, y)$ – (p_1, p_2) -секаторы, то мы говорим что $\phi_1(x, y)$ меньше чем $\phi_2(x, y)$, если существует $a \in p_1(M)$ такой, что $\phi_1(a, M) \subset \phi_2(a, M)$. Очевидно что если $p_1, p_2 \in S_1(A)$ – неалгебраические, p_1 неслабо ортогонален p_2 , тогда существует (p_1, p_2) -секатор и множество всех (p_1, p_2) -секаторов линейно упорядочено. Также очевидно что для любого (p_1, p_2) -секатора $\phi(x, y)$ $f(x) := \sup \phi(x, M)$ не является константой на $p_1(M)$.

Теорема 2.3. Пусть T – счетно категоричная слабо о-минимальная теория, $p, q \in S_1(\emptyset)$ – неалгебраические, p неслабо ортогонален q . Тогда следующие условия эквивалентны:

(1) $RC_{bin}(p) > RC_{bin}(q)$

(2) Для любого (p, q) -секатора $R(x, y)$ существует \emptyset -определимое отношение эквивалентности $E(x, y)$, разбивающее $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, так что $f(x) := \sup R(x, M)$ является константой на каждом E -классе.

Доказательство Теоремы 2.3. Пусть для определенности $RC_{bin}(p) = n$. Тогда существуют \emptyset -определимые отношения эквивалентности $E_1(x, y), \dots, E_{n-1}(x, y)$, разбивающие $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, так что $E_1(a, M) \subset \dots \subset E_{n-1}(a, M)$ для некоторого (любого) $a \in p(M)$.

(\Rightarrow) Предположим, что $RC_{bin}(p) > RC_{bin}(q)$. Допустим противное: существует (p, q) -секатор $R(x, y)$ такой, что для любого \emptyset -определимого отношения эквивалентности $E(x, y)$, разбивающего $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, функция $f(x) := \sup R(x, M)$ не является константой на каждом E -классе. Тогда f не является константой на каждом E_1 -классе. Но тогда f должна быть строго монотонной (строго возрастающей или строго убывающей) на каждом E_1 -классе. Действительно, f не может локально монотонной (не строго монотонной) на каждом E_1 -классе, иначе появится \emptyset -определимое отношение эквивалентности $E_0(x, y)$, разбивающее $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, так что $E_0(a, M) \subset E_1(a, M)$ для некоторого (любого) $a \in p(M)$, противореча тому, что $E_1(x, y)$ – минимальное среди \emptyset -определимых нетривиальных отношений эквивалентности на $p(M)$.

Далее рассмотрим поведение функции f на каждом $E_2(a, M)/E_1$, где $a \in p(M)$. Она должна быть строго монотонной на каждом $E_2(a, M)/E_1$, иначе появится \emptyset -определимое отношение эквивалентности $\bar{E}(x, y)$ такое, что $E_1(a, M) \subset \bar{E}(a, M) \subset E_2(a, M)$, противореча тому, что E_2 является непосредственным последователем отношения E_1 среди всех \emptyset -определимых отношений на $p(M)$. Аналогично доказывается, что f является строго монотонной на каждом $E_{k+1}(a, M)/E_k$, где $1 \leq k \leq n - 2$ и f является строго монотонной на $p(M)/E_{n-1}$.

Рассмотрим следующие формулы:

$$E'_1(x, y) := [x \leq y \rightarrow \exists t_1 \exists t_2 (E_1(t_1, t_2) \wedge f(t_1) < x \leq y < f(t_2))] \wedge [x > y \rightarrow \exists t_1 \exists t_2 (E_1(t_1, t_2) \wedge f(t_1) < y < x < f(t_2))]$$

$$\dots \dots \dots \dots \dots \dots$$

$$E'_{n-1}(x, y) := [x \leq y \rightarrow \exists t_1 \exists t_2 (E_{n-1}(t_1, t_2) \wedge f(t_1) < x \leq y < f(t_2))] \wedge$$

$$[x > y \rightarrow \exists t_1 \exists t_2 (E_{n-1}(t_1, t_2) \wedge f(t_1) < y < x < f(t_2))]$$

Можно понять, что $E'_1(x, y), \dots, E'_{n-1}(x, y)$ – отношения эквивалентности, разбивающие $q(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, причем $E'_1(b, M) \subset \dots \subset E'_{n-1}(b, M)$, откуда $RC_{bin}(q) \geq n$, противоречия нашему предположению.

(\Leftarrow) Пусть для любого (p, q) -сектора $R(x, y)$ существует \emptyset -определимое отношение эквивалентности $E(x, y)$, разбивающее $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, так что $f(x) := \sup R(x, M)$ является константой на каждом E -классе. Поймем, что $RC_{bin}(p) > RC_{bin}(q)$. Возьмем произвольный (p, q) -сектор $R(x, y)$. Согласно предположению существует \emptyset -определимое отношение эквивалентности $E(x, y)$, разбивающее $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, так что $f(x) := \sup R(x, M)$ является константой на каждом E -классе. Предположим, что $E(x, y)$ – максимальное с таким свойством. Очевидно что для некоторого $1 \leq i \leq n-1$ $E(x, y) \equiv E_i(x, y)$. Далее рассмотрим поведение функции f на каждом $E_{i+1}(a, M)/E_i$, где $a \in p(M)$. Функция f не может быть константой на каждом $E_{i+1}(a, M)/E_i$, иначе f – константа на каждом E_{i+1} -классе, противоречия максимальной E_i с таким свойством. Следовательно, f должна быть строго монотонной на каждом $E_{i+1}(a, M)/E_i$, иначе если она локально монотонная (не строго монотонная) на каждом $E_{i+1}(a, M)/E_i$, то появится \emptyset -определимое отношение эквивалентности $\bar{E}(x, y)$ такое, что $E_i(a, M) \subset \bar{E}(a, M) \subset E_{i+1}(a, M)$, противоречия тому, что E_{i+1} является непосредственным последователем отношения E_i среди всех \emptyset -определимых отношений на $p(M)$. Аналогично доказывается, что f является строго монотонной на каждом $E_{k+1}(a, M)/E_k$, где $i \leq k \leq n-2$ и f является строго монотонной на $p(M)/E_{n-1}$. Рассмотрим следующие формулы:

$$E'_{i+1}(x, y) := U_q(x) \wedge U_q(y) \wedge \exists t_1 \exists t_2 [U_p(t_1) \wedge U_p(t_2) \wedge (E_{i+1}(t_1, t_2) \wedge f(t_1) < x < f(t_2) \wedge f(t_1) < y < f(t_2))]$$

.....

$$E'_{n-1}(x, y) := U_q(x) \wedge U_q(y) \wedge \exists t_1 \exists t_2 [U_p(t_1) \wedge U_p(t_2) \wedge (E_{n-1}(t_1, t_2) \wedge f(t_1) < x < f(t_2) \wedge f(t_1) < y < f(t_2))]$$

Очевидно, что $E'_{i+1}(x, y), \dots, E'_{n-1}(x, y)$ – отношения эквивалентности, разбивающие $q(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, причем $E'_{i+1}(b, M) \subset \dots \subset E'_{n-1}(b, M)$, откуда $RC_{bin}(q) \geq n-i$. Далее, если существует \emptyset -определимое отношение эквивалентности $E^q(x, y)$, разбивающее $q(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, причем $E^q(b, M) \subset E'_{i+1}(b, M)$, то рассмотрим следующую формулу:

$$\hat{E}(x, y) := U_p(x) \wedge U_p(y) \wedge \exists t_1 \exists t_2 [E^q(t_1, t_2) \wedge f(x) < t_1 < f(y) \wedge f(x) < t_2 < f(y)]$$

Очевидно, что $E_i(a, M) \subset \hat{E}(a, M) \subset E_{i+1}(a, M)$, опять противоречия тому, что E_{i+1} является непосредственным последователем отношения E_i среди всех \emptyset -определимых отношений на $p(M)$. Аналогично доказывается, что не существует \emptyset -определимого отношения эквивалентности $E^q(x, y)$, разбивающего $q(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, причем $E'_k(b, M) \subset E^q(b, M) \subset E'_{k+1}(b, M)$ для любого $i+1 \leq k \leq n-2$ или $E'_{n-1}(b, M) \subset E^q(b, M)$. Таким образом, $RC_{bin}(q) = n-i$, т.е. $RC_{bin}(p) > RC_{bin}(q)$. \square

Следствие 2.4. Пусть T – счетно категоричная слабо o -минимальная теория, $p, q \in S_1(\emptyset)$ – неалгебраические, p неслабо ортогонален q . Тогда следующие условия эквивалентны:

$$(1) RC_{bin}(p) = RC_{bin}(q)$$

(2) Существует (p, q) -секатор $R(x, y)$ такой, что для любого \emptyset -определимого отношения эквивалентности $E(x, y)$, разбивающего $p(M)$ на бесконечное число бесконечных выпуклых классов, функция $f(x) := \sup R(x, M)$ не является константой на каждом E -классе.

(3) Существует (p, q) -секатор $R(x, y)$ такой, что функция $f(x) := \sup R(x, M)$ является локально монотонной (не локально константой) на $p(M)$.

В заключение отметим, что данные исследования поддержаны грантом КН МОН РК №0830/ГФ4 по теме «Классификационные вопросы генерических и упорядоченных структур, а также их элементарных теорий» в рамках приоритета «Интеллектуальный потенциал страны» (подприоритет «Фундаментальные исследования в области математики, механики, физики»).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Macpherson H.D., Marker D., Steinhorn C. Weakly o -minimal structures and real closed fields // Transactions of The American Mathematical Society. – 2000. – 352. – P. 5435-5483.
- [2] Kulpeshov B.Sh. Weakly o -minimal structures and some of their properties // The Journal of Symbolic Logic. – 1998. – 63. – P. 1511-1528.
- [3] Baizhanov B.S. Expansion of a model of a weakly o -minimal theory by a family of unary predicates // The Journal of Symbolic Logic. – 2001. – 66. – P. 1382-1414.
- [4] Вербовский В.В. О глубине функций слабо o -минимальных структур и пример слабо o -минимальной структуры без слабо o -минимальной теории // Proceedings of Informatics and Control Problems Institute. – 1996. – С. 207-216.
- [5] Verbovskiy V.V. On formula depth of weakly o -minimal structures // Algebra and Model Theory / A. G. Pinus and K. N. Ponomaryov, editors. – Novosibirsk, 1997. – P. 209-223.
- [6] Kulpeshov B.Sh. Criterion for binarity of \aleph_0 -categorical weakly o -minimal theories // Annals of Pure and Applied Logic. – 2007. – N 2(45). – P. 354-367.

REFERENCES

- [1] Macpherson H.D. Marker D., Steinhorn C. Weakly o -minimal structures and real closed fields. Transactions of The American Mathematical Society, 352 (2000), pp. 5435-5483
- [2] Kulpeshov B.Sh. Weakly o -minimal structures and some of their properties. The Journal of Symbolic Logic, 63 (1998), pp. 1511-1528
- [3] Baizhanov B.S. Expansion of a model of a weakly o -minimal theory by a family of unary predicate. The Journal of Symbolic Logic, 66 (2001), pp. 1382-1414
- [4] Verbovskiy V.V. About the depth of functions of weakly o -minimal structures and example of weakly o -minimal structure without weakly o -minimal theory. Proceedings of Informatics and Control Problems Institute, 1996, pp. 207-216.
- [5] Verbovskiy V.V. On formula depth of weakly o -minimal structures. Algebra and Model Theory, (A.G. Pinus and K.N. Ponomaryov, editors). Novosibirsk, 1997, pp. 209-223.
- [6] Kulpeshov B.Sh. Criterion for binarity of \aleph_0 -categorical weakly o -minimal theories. Annals of Pure and Applied Logic. 2007. N 2(45). P. 354-367.

ӘЛСІЗ О-МИНИМАЛДЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАРДА БИНАРЛЫҚ ДӨНЕСТІК РАНГІ

Б. Ш. Кулпешов

Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: әлсіз o -минималдық, есептік категориялық, дөңестік рангі, типтердің ортогоналдығы, унарлық функция.

Аннотация. Жұмыста есептік-категориялық әлсіз o -минималдық құрылымдар зерттеленді. Унарлық функцияның жүріс-тұрыс терминдерді қолданып әлсіз ортогоналдық емес типтердің бинарлық дөңестік рангілері тең болу критерийі табылды.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 14 – 19

**MODEL OF THE FORM OF ORGANIZATION
OF COMPUTER LABORATORY WORK
ON RESEARCH OF NEWTON'S RINGS**

**K. A. Kabilbekov, H. A. Ashirbayev, P. A. Saidakhmetov,
N. Z. Baigulova, L. E. Baidullayeva**

M. Auezov South-Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: ken_kab@mail.ru; ank_56@mail.ru; timpf_ukgu@mail.ru

Key words: models of forms, computer laboratory work, a picture of an interference, Newton's ring, a strip of an equal thickness, an optical difference of a course.

Abstract. The model of the form of organization of computer laboratory work for research of Newton's rings (a strip of an equal thickness), including problems with the subsequent computer check, experimental problems, problems with the missing data and ambiguous problems, research and creative tasks is offered.

УДК 532.133, 371.62, 372.8.002

**НЬЮТОН САҚИНАЛАРЫН ЗЕРТТЕУДІ ҰЙЫМДАСТЫРУҒА
АРНАЛҒАН КОМПЬЮТЕРЛІК ЗЕРТХАНАЛЫҚ
ЖҰМЫСТЫҢ БЛАНКІ ҮЛГІСІ**

**К. А. Қабылбеков, Х. А. Аширбаев, П. А. Саидахметов,
Н. З. Байгулова, Л. Е. Байдуллаева**

М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан

Тірек сөздер: бланкі үлгілері, компьютерлік зертханалық жұмыс, интерференциялық бейне, Ньютон сақиналары, қалыңдығы бірдей жолақтар, оптикалық жол айырымы.

Аннотация. Ньютон сақиналарын (қалыңдығы бірдей жолақтар) зерттеуді ұйымдастыруға арналған, жауабын компьютер көмегімен тексеретін есептерді, тәжірибелік, берілгендері жетіспейтін, бірімәнді емес есептерді, зерттеулік және творчестволық тапсырмаларды камтитын компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі ұсынылған.

Қазақстан Республикасының Президенті-Елбасы Н. А. Назарбаев «Қазақстан-2050 – стратегиясы» – қалыптасқан мемлекеттің жаңа саяси бағыты» атты Қазақстан халқына Жолдауында: Қазақстан 2050 жылы 30 дамыған мемлекеттер қатарына енуі керек деп атап көрсетті. Дамып келе жатқан елдер арасында мұндай қатарда болуы үшін бәсекелестік қатаң болады. Ұлт глобалдық экономикалық бәсекелестікке дайын болғанда ғана мұндай қатарда бола алады. Біз, аса маңызды мақсаттарымызды естен шығармай, мақсатты және шабытты еңбек етуіміз керек: қазіргі заманға сай нәтижелі білім мен денсаулық сақтау жүйесін құру. Бәсекеге қабілетті дамыған мемлекет болу үшін біз сауаттылығы жоғары елге айналуымыз керек. Бізге оқыту әдістемелерін жаңғырту және өңірлік мектеп орталықтарын құра отырып, білім берудің онлайн-жүйелерін белсене дамыту керек болады. Біз қалайтындардың барлығы үшін қашықтан оқытуды және онлайн режимінде оқытуды

қоса, отандық білім беру жүйесіне инновациялық әдістерді, шешімдерді және құралдарды қарқынды енгізуге тиіспіз [1].

Президент жолдауында келтірілген тапсырмаларды орындау үшін М.Әуезов атындағы мемлекеттік университетінің «Физиканы оқытудың теориясы мен әдістемесі» кафедрасы биылғы оқу жылында оқу үрдісіне "Білімдегі ақпараттық технологиялар", "Физиканы оқытудағы ақпараттық технологиялар" және "Электронды оқулықтарды оқу үрдісінде қолдану" курстарын енгізді. Курстың мақсаты: студент-болашақ физика мұғалімдерін оқу үрдісінде, өздерінің кәсіпшілік қызметінде және біліктілігін жоғарылатуында, оқу үрдісі мен сыныптан тыс жұмыстарды және компьютерлік зертханалық жұмыстарды ұйымдастыруда болашағы зор білім беру технологияларын творчесволық және тиімді пайдалануға дағдыландыру.

Оқу материалдары базасын жасауда студенттер мен магистранттар белсенді қатыстырылады. Авторлар құрастырған бірқатар демонстрациялық тәжірибелердің компьютерлік моделдерін оқу үрдісінде пайдалану және компьютерлік зертханалық жұмыстарды ұйымдастыруға арналған бланкі үлгілері туралы біз бұрын жазғанбыз [2-14].

Мақалада студенттерге, магистранттарға, мектеп мұғалімдеріне көмекші құрал ретінде оқушылардың [15] ресурсын пайдаланып «Ньютон сақиналары. Интерференция құбылысын зерттеу» компьютерлік зертханалық жұмысты ұйымдастыруда қандай тапсырмалар беруге болатынын және оқушыларға алдын ала берілетін компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісін ұсынамыз.

1. Компьютерлік зертханалық жұмысты орындауға оқушыларға алдына ала ұсынылатын бланкі үлгісі.

Жұмыстың тақырыбы: Ньютон сақиналары. Интерференция құбылысын зерттеу.

Жұмыстың мақсаты: Ньютон сақиналарын бақылау үшін тәжірибелер жүргізу. Интерференциялық минимум мен максимумдардың пайда болу шарттарын анықтау, тәжірибе арқылы дөңес линзаның қисықтық радиусын анықтау.

Сынып..... Оқушының фамилиясы..... Есімі.....

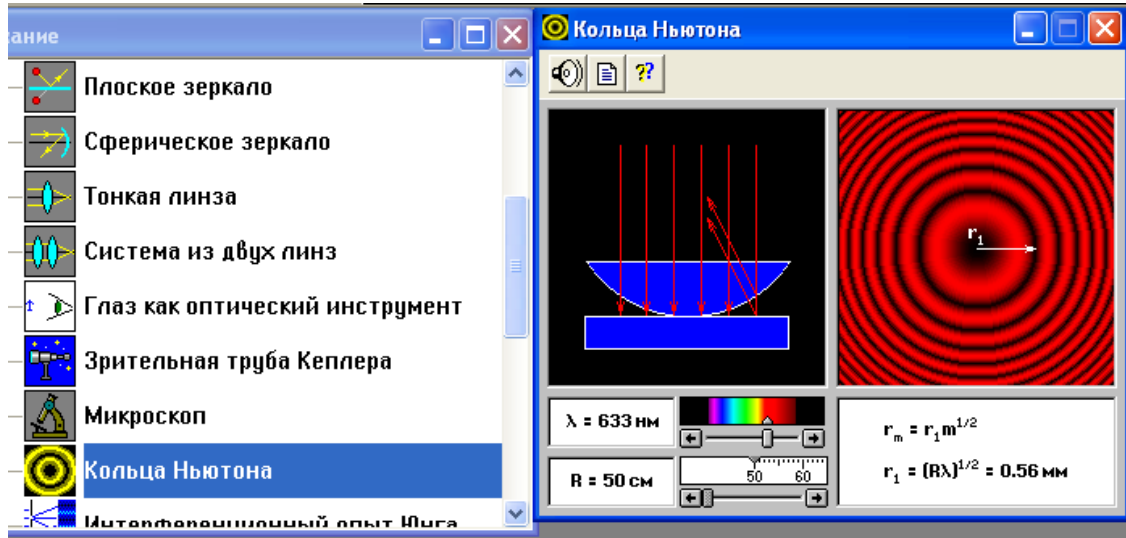
1. Танысу тапсырмалары.

Теориядан қысқаша мәлімет.

Ньютон сақиналары жұқа қабыршақтардағы интерференцияның дербес түрі, ол жұқа қабыршақ қалыңдығының біркелкі өзгертін жағдайында байқалады. Қисықтық радиусы үлкен жазық-дөңес линза мен жазық шыны арасындағы ауа қабатының қалыңдығы линзаның дөңес бетінің жазық шыны бетімен түйіскен жерінен линзаның сыртқы шетіне қарай біркелкі ұлғаяды. Осы ауа қабатында пайда болатын ақ кара түсті интерференциялық жолақтар сақина түрінде байқалады, Олар Ньютон сақиналары деп аталады. Ньютон сақиналарының радиусы түскен жарықтың толқын ұзындығына тәуелді. Картинаның центрі барлық кезде кара түсті болады. Бұл құбылысты Юнг толқындық көзқарас тұрғысында түсіндірді. Ньютон сақиналары дөңес бет пен жазық беттен шағылған толқындардың интерференциясының салдарынан пайда болады. Осы толқындардың жүру жолдарының айырмашылығы ауа қабатының екі еселеген қалыңдығындай (жарық жүйеге нормаль бағытта түскенде). Егер жол жүру айырмашылығы тоқын ұзындығының бүтін санына тең болса, онда шағылған толқындар бір бірін күшейтіп интерференциялық максимумдар пайда болады. Егер жол жүру айырмашылығы тоқын ұзындығының бүтін санының жартысына тең болса, онда шағылған толқындар бір бірін әлсіретіп интерференциялық минимумдар пайда болады.

Жазық шыны бетінен шағылғанда (ауа-шына шекарасында) жарық толқын тербелісінің фазасы π -ге өзгереді, бұл жүру жол айырмашылығының $\lambda/2$ -ге артқанына сәйкес келеді. Осының нәтижесінде дөңес бет пен шыны бетінің түйіскен аумағының арасы λ толқын ұзындығы анағұрлым аз болғандықтан картина центрінде интерференциялық минимум пайда болады да кара дақ байқалады.

Кара жолақ сақиналардың радиусы $r_m = \sqrt{m\lambda R}$ өрнектеледі, мұндағы m - бүтін сан, R – линзаның дөңес бетінің қисықтық радиусы. Тәжірибеде кара жолақ сақиналардың радиустарын өлшеп линзаның қисықтық радиусын анықтауға болады.



Бакылау сұрақтары.

- Ньютон сақиналары деп нені атайды?
Жауабы:.....
 - Ньютон сақиналары қалай пайда болады?
Жауабы:.....
 - Ньютон сақиналарының кара жолақтарының пайда болуын түсіндіріңдер.
Жауабы:.....
 - Ньютон сақиналарының ақ жолақтарының пайда болуын түсіндіріңдер.
Жауабы:.....
 - Ньютон сақиналарының кара жолақтарының радиусының өрнегі қандай?
Жауабы:.....
 - Ньютон сақиналарының кара жолақтарының радиусының өрнегі қандай?
Жауабы:.....
 - Жазық - дөңес линзаның дөңес бетінің қисықтық радиусын анықтау үшін қандай тәжірибе жүргізу керек?
Жауабы:.....
- 1.1. Линзаның қисықтық радиусын R=100 см етіп жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 380-760 нм аралығында өзгертіп 5-6 тәжірибе жүргізіңдер. Қорытынды жасаңдар.
Қорытынды:.....
- 1.2. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм етіп линзаның қисықтық радиусын 50-200 см аралығында өзгертіп 5-6 тәжірибе жүргізіңдер. Қорытынды жасаңдар.
Қорытынды:.....
- 2. Есептердің жауаптарын компьютермен тексеруге арналған есептер.**
Алдымен есепті өздерің қағазға шығарын нәтижелерін компьютерлік тәжірибедегі нәтижемен салыстырыңдар
- 2.1. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм. Линзаның қисықтық радиусы R=50 см.
Центрдегі кара дақтың радиусын анықта.
Жауабы:.....
- 2.2. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм. Линзаның қисықтық радиусы R=100 см. Центрдегі кара дақтың радиусын анықта.
Жауабы:.....
- 2.3. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм. Линзаның қисықтық радиусы R=150 см. Центрдегі кара дақтың радиусын анықта.
Жауабы:.....

2.4. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм. Линзаның қисықтық радиусы $R=200$ см. Центрдегі қара дақтың радиусын анықта.

Жауабы:.....

2.5. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм. Линзаның қисықтық радиусы $R=50$ см. 5 –ші қара жолақтың радиусын анықта.

Жауабы:.....

2.6. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм. Линзаның қисықтық радиусы $R=100$ см. 5 –ші қара жолақтың радиусын анықта.

Жауабы:.....

2.7. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм. Линзаның қисықтық радиусы $R=150$ см. 5 –ші қара жолақтың радиусын анықта.

Жауабы:.....

2.8. Жүйеге түсетін жарықтың толқын ұзындығын 663 нм. Линзаның қисықтық радиусы $R=200$ см. 5 –ші қара жолақтың радиусын анықта.

Жауабы:.....

3. Тәжірибелік есептер

3.1. Жүйеге толқын ұзындығы 663 нм лазер сәулесі түскенде 5-ші қара сақинаның диаметрі 2,54 мм болған. Линзаның қисықтық радиусын анықтаңдар.

Жауабы:.....

3.2. Линзаның қисықтық радиусы 50 см жағдайында 5-ші қара сақинаның диаметрі 2,54 мм болған. Жүйеге түскен сәуленің толқын ұзындығын анықтаңдар

Жауабы:.....

3.3. Линзаның қисықтық радиусы 100 см жағдайында центрдегі қара дақтың диаметрі 0,81 мм болған. Жүйеге түскен сәуленің толқын ұзындығын анықтаңдар

Жауабы:.....

3.4. Линзаның қисықтық радиусы 100 см жағдайында центрдегі қара дақтың диаметрі 1,00 мм болған. Жүйеге түскен сәуленің толқын ұзындығын анықтаңдар

Жауабы:.....

3.5. Линзаның қисықтық радиусы 100 см жағдайында центрдегі қара дақтың диаметрі 1,00 мм болған. Жүйеге түскен сәуленің толқын ұзындығын және 6-шы қара сақинаның диаметерін анықтаңдар

Жауабы:.....

4. Бірмәнді емес және мәндері жетіспейтін есептер

4.1. Ньютон сақиналарын бақылауда 1-ші қара сақинаның диаметрі 1,46 мм. Линзаның қисықтық радиусын анықта

Жауабы:.....

4.2. Ньютон сақиналарын бақылауда 2-ші қара сақинаның диаметрі 1,04 мм. Линзаның қисықтық радиусын анықта

Жауабы:.....

5. Зерттеу тапсырмалары.

5.1. Ньютон сақиналарының радиустарының жарықтың толқын ұзындығына тәуелдігін зерттеп, өрнектелуін анықтаңдар. Қорытынды жасаңдар.

Қорытынды:.....

5.2. Ньютон сақиналарының радиустарының дөңес линзаның қисықтық радиусына тәуелдігін зерттеп, өрнектелуін анықтаңдар. Қорытынды жасаңдар.

Қорытынды:.....

5.3. Сіздің қолыңызда қисықтық радиустары әр түрлі бірнеше линзалар бар. Олардың қисықтық радиустарын анықтау үшін қандай тәжірибе жасар едіңіз.

Жауабы:.....

5.4. Сіздің қолыңызда қисықтық радиустары әр түрлі бірнеше линзалар бар. Линзалардың қисықтық радиустарын анықтау үшін интерференциялық жолақтар экранда проекцияланған. Линзалардың қисықтық радиустарын қалайша есептеп алар едіңіз.

Жауабы:.....

3. Творчестволық тапсырмалар. Мұндай тапсырма аясында оқушыларға өз бетінше бір немесе бірнеше есеп құрастыру және үйде немесе сыныпта орындауы ұсынылады. Содан кейін алған нәтижесін компьютерлік моделді пайдаланып тексеруі керек. Алғашқыда бұл есептер бұрын құрастырылып, сабақта шешілген есептер типтесі болып, кейіннен модел мүмкіншілігіне орай жаңа типті болуы мүмкін.

Орындалған тапсырмалар саны	Қателер саны	Сіздің бағалауыңыз

Бланкіде тапсырмалар артығымен берілген. Бір оқушы олардың барлығын орындауы шарт емес. Мұғалім ұсынылған тапсырмалар ішінен іріктеп оқушының шамасына қарай бергені дұрыс, немесе басқа да тапсырмалар ұсынуына болады.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Назарбаев Н.А. «Стратегия «Казахстан-2050» – новый политический курс состоявшегося государства». Послание народу Казахстана. Астана. www.bnews.kz. 14 декабря 2012г.
- [2] Кабылбеков К.А., Байжанова А. Использование мультимедийных возможностей компьютерных систем для расширения демонстрационных ресурсов некоторых физических явлений // Труды Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. – Томск 2011. – С. 210-215.
- [3] Кабылбеков К.А., Аманбаев С.П., Халметова З.Б., Арысбаева А.С. Модель урока: Лабораторная работа: «Исследование последовательного и параллельного соединения проводников» с использованием виртуального конструктора // Научные труды ЮКГУ им. М. Ауэзова. – Шымкент, 2013. – № 1 (26). – С. 83-87.
- [4] Кабылбеков К.А., Сатаев С., Серкебаев С.К., Арысбаева А.С. Модель урока: Лабораторная работа: «Исследование цепей переменного тока» с использованием виртуального конструктора // Труды междунар. научно-практ. конф. «Казахстанское общество всеобщего труда: социально-педагогический, экономический, инновационный и правовой аспекты». – Тараз, 2013. – 2 т. – С. 60-64.
- [5] Кабылбеков К.А., Турмамбеков Т.А., Иманбеков Д.А., Арысбаева А.С. Компьютерлік зертханалық жұмыс бланкісінің үлгісі // А. Ясауи атындағы ХКГУ хабаршысы. – Түркістан, 2013. – № 1 (81). – С. 23-31.
- [6] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Белгібаева А.М., Арысбаева А.С. Оқушылардың өз бетінше атқаратын компьютерлік зертханалық жұмыс бланкісінің үлгісі // Труды междунар. научно-практ. конф. «Ауэзовские чтения-12: «Роль регионального университета в развитии инновационных направлений науки, образования и культуры», посвящ. 70-летию ЮКГУ им. М. Ауэзова. – Шымкент, 2013. – Т. 5. – С. 149-153.
- [7] Кабылбеков К.А., Дасибек А.Д., Аширбаев Х.А., Серкебаев С.К. Физика сабақтарында компьютерлік моделдер мен виртуал лабораторияларды қолдану әдістемесі // Труды междунар. научно-практ. конф. «Ауэзовские чтения-12: «Роль регионального университета в развитии инновационных направлений науки, образования и культуры», посвящ. 70-летию ЮКГУ им. М. Ауэзова. – Шымкент, 2013. – Т. 5. – С. 157-161.
- [8] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Арысбаева А.С. Оқушылардың өз бетінше атқаратын компьютерлік зертханалық жұмыс бланкісінің үлгісі // Известия НАН РК. – 2013. – № 6. – С. 82-89.
- [9] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Байдуллаева Л.Е. Абдураимов Фотоэффект, комптонэффекті заңдылықтарын оқытуда компьютерлік үлгілерді қолданудың әдістемесі, компьютерлік зертханалық жұмыс атқаруға арналған бланкі үлгілері // Известия НАН РК. – 2013. – № 6. – С. 114-121.
- [10] Кабылбеков К.А., Саидахметов П.А., Турганова, Т.К., Нуруллаев М.А., Байдуллаева Л.Е. Жинағыш және шашыратқыш линзаларды үлгілеу тақырыбына сабақ өткізу үлгісі // Известия НАН РК. Серия физ-мат. – 2014. – № 2. – С. 286-294.
- [11] Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Такибаева Г.А., Сабалахова А.П. Серкебаев С.К. Аширбаев Х.А., Такибаева Г.А., Сабалахова А.П. Серкебаев С.К. Физикада компьютерлік зертханалық сабақ өткізуді ұйымдастыру // Труды междунар. научно-практ. конф. «Ауэзовские чтения-12: «Роль регионального университета в развитии инновационных направлений науки, образования и культуры». – Т. 6. – Шымкент, 2014. – С. 277-281.
- [12] Кабылбеков К.А., Турмамбеков Т.А., Саидахметов П.А., Байдуллаева Л.Е. Сфералық айнаны моделдеу тақырыбына сабақ өткізу үлгісі // Труды международной научно-практ. конф. – МКГУ, Туркестан, 2014.
- [13] Кабылбеков К.А., Серкебаев С.К. Салмақ пенсалмақсыздықты зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі // Республикалық ғылыми-практ. конф. материалдары. – Шымкент, 2014. – 37-40 бет.
- [14] Кабылбеков К.А. Физикадан компьютерлік зертханалық жұмыстарды ұйымдастыру. Оқу құралы. – Шымкент. – 77 б.
- [15] CD диск компании ОАО «Физикон». «Открытая физика 1.1».2001.

REFERENCES

- [1] Nazarbayev H.A. "Strategy" Kazakhstan-2050 » - a new political policy of the taken place state». The message to the people of Kazakhstan. Astana. www.bnews.kz. On December, 14th 2012r.
- [2] Kabyzbekov K.A., Bajzhanova A. Application of multimedia possibilities of computer systems for expansion of demonstration resources of some physical phenomena. Works All-Russia scientifically-prakt. konf.c междунар. Participation. Tomsk 2011r., C-210-215.
- [3] Kabyzbekov K.A., Amanbaev S.P., Halmetova Z.B., Arysbaeva A.S. Model of a lesson: Laboratory work: «Research of consecutive and parallel connection of conductors» with use of the virtual designer. Proceedings UKGU of M.Auezova, Shymkent, 2013, №1 (26), With-. 83-87.
- [4] Kabyzbekov K.A., Sataev C, Serkebaev S.K., Arysbaeva A.S. Model of a lesson: Laboratory work: «Research of chains of an alternating current» with use of the virtual designer. Works of the international scientifically-practical conference «the Kazakhstan society of general work: socially-pedagogical, economic, innovative and legal aspects», Taraz 2013, 2 volume, P. 60-64.
- [5] Kabyzbekov K.A., Turmambekov T.A., Imanbekov D.A., Arysbaeva A.S. Model of the form computer laboratory. Bulletin IKTU of H.A.Jasaui, Turkestan, 2013, №1 (81), C-23-31.
- [6] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Belgibaeva A.M., Arysbaeva A.C. Model of the form of the organisation of independent performance of computer laboratory works.. Works of the international scientifically-practical conference «Auezovsky readings-12:« the Role of regional university in development of innovative directions of a science, formation and culture», devoted to 70 anniversary UKGU of M.Auezova, Shymkent, 2013, т.5, C-149-153.
- [7] Kabyzbekov K.A., Dasibekov A.D., Ashirbaev H.A., Serkebaev S.K. Technique of use of computer models and virtual laboratory works at physics lessons. Works of the international scientifically-practical conference «Auezovsky readings-12:« the Role of regional university in development of innovative directions of a science, formation and culture », devoted to 70 anniversary UKGU of M.Auezova, Shymkent, 2013, т., 5, C-.157-161.
- [8] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P. A, Arysbaeva A.S. Model of the form of the organisation of independent performance of computer laboratory works as pupils. News of NAN PK, 2013, №6, From 82-89.
- [9] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P. A, Bajdullaeva L.E.R.Abduraimov. A technique of use of computer models at photo and kompton-effect studying and form model organisation computer laboratory works. News of NAN PK, 2013. №6, P. 114-121.
- [10] Kabyzbekov K.A., Saidahmetov P. A, Turganova T, Since, Nurullaev M. A, Bajdullaeva L.E. Model of carrying out of a lesson of modelling of collecting and disseminating lenses.. News of NAN PK, a series a physical-floor-mat. № 2, 2014, p. 286-294.
- [11] Kabyzbekov K.A., Ashirbaev H.A., Takibaeva G. A, Sabalahova A.P.Serkebaev S.K.Ashirbaev X.A., Takibaeva G. A, Sabalahova A.P.Serkebaev S.K. Organisation of a lesson of computer laboratory work on the physicist. Works of the international scientifically-practical conference «Auezovsky readings-12:« the Role of regional university in development of innovative directions of a science, formation and culture », Volume 6, Shymkent 2014, p. 277-281.
- [12] Kabyzbekov K.A., Turmambekov T.A, P.A.Saidahmetov, L.E.Bajdullaeva. Model of carrying out of a lesson of modelling of a spherical mirror. Works of the international scientifically-practical conference, IKTU of H.A.Jasaui, Turkestan, 2014.
- [13] Kabyzbekov K.A., Serkebaev S.K.model of the form of the organisation of computer laboratory work on research weight and weightlessness. Materials of republican scientifically-practical conference. Shymkent 2014, 37-40 p.
- [14] Kabyzbekov K.A.Organisation of computer laboratory work on the physicist. The manual. Shymkent. 77 p.
- [15] CD a disk of the company of Open Society "Physical icons". «The open physics 1.1".2001.

МОДЕЛЬ БЛАНКА ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

**К. А. Кабылбеков, Х. А. Аширбаев, П. А. Саидахметов,
Н. З. Байгулова, Л. Е. Байдуллаева**

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Ключевые слова: модели бланков, компьютерная лабораторная работа, интерференционная картина, кольца Ньютона, полосы равной толщины, оптическая разность хода.

Аннотация. Предлагается модель бланка организации компьютерной лабораторной работы для исследования колец Ньютона (полосы равной толщины), включающая задачи с последующей компьютерной проверкой, экспериментальные задачи, задачи с недостающими данными и неоднозначные задачи, исследовательские и творческие задания.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 20 – 31

**OPTIMIZATION OF LAYERED AND COMPOSITE BLADES' STRESS
CONDITION WITH DIFFERENT PHYSICAL-AND-MECHANICAL
PROPERTIES IN THE FIELD OF CENTRIFUGAL FORCES**

A. U. Nurimbetov, S. A. Orynbayev, A. B. Bekbayev, B. K. Baibutanov

Kazakh national technical university after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: seitzhan_74@mail.ru

Key words: blade, torsion, tension, strain, stress, fiberglass.

Abstract. In work, using the received technical theory of torsion of a composite layered core of any section, the program is made, allowing numerically to define the strained-deformed condition (s.d.c) of the composite core of any section or a shovel, being in the field of centrifugal forces. The natural-twirled layered core is under incorporated action of the stretching forces, bending and braiding moments or under the influence of centrifugal forces. In the program the technological problem of cutting hovels on the layers, parallel to a core axis, is solved. A shovel, investigated in the givenwork, is presented by three sections.

УДК 539.4

**ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЛОПАТОК
С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ
СВОЙСТВАМИ СЛОЕВ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ**

А. У. Нурымбетов, С. А. Орынбаев, А. Б. Бекбаев, Б. К. Байбутанов

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

Ключевые слова: лопатка, кручение, растяжение, деформация, напряжения, стеклопластик.

Аннотация. В работе, используя полученную техническую теорию кручения композиционного слоистого стержня произвольного сечения, составлена программа, позволяющая численно определить напряженно-деформированное состояние (НДС) слоистой композиционной лопатки, находящейся в поле центробежных сил. Естественно-закрученная слоистая композиционная лопатка находится под объединенным действием растягивающих сил, изгибающих и скручивающих моментов или под влиянием центробежных сил. В программе решена технологическая проблема раскроя лопатки на лепестки в плоскостях, параллельных оси стержня. Лопатка, исследованная в данной работе, представлена тремя сечениями.

Введение. Очертание лопаток в перспективных ветродвигателях становятся более сложными. Наблюдается переход в конструкциях лопаток вентиляторов ветротурбин от очертаний, близких к стержням с закруткой и большим относительным удлинением, к очертаниям типа пластин с малым относительным удлинением, большой закруткой и кривизной. Вместо современных металлических сплавов начинают применять интерметаллические соединения, композиты с металлической матрицей и композиты с керамической матрицей. По мере совершенствования методов расчета современных ветродвигателей геометрические характеристики, аэродинамические и температурные нагрузки облопаченных дисков и барабанов становятся более определенными, что дает

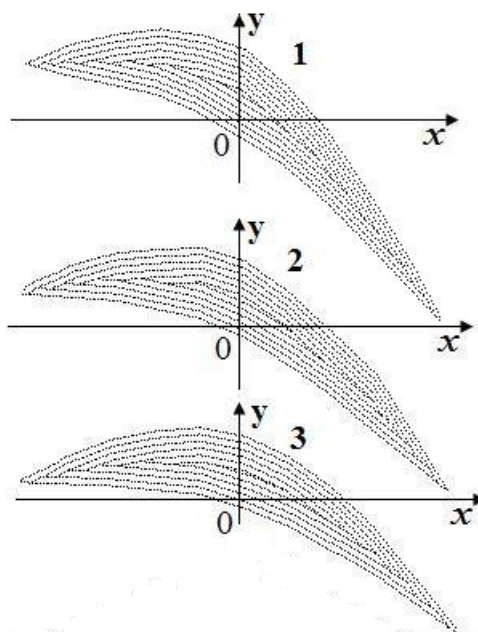
возможность применять численные методы для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) лопаток. Перспективные модели ветротурбин имеют лопасти с большим углом стреловидности, закрученные по размаху и изогнутые, относительно оси вращения. Эти лопасти должны работать в весьма сложных и тяжелых аэромеханических условиях.

Подобные конструкции известны уже давно, но до сих пор отсутствовали средства для их расчета и материалы для их изготовления. В настоящее время благодаря появлению быстродействующих ЭВМ и сложного инженерного программного обеспечения, а также наличию современных композиционных материалов стал возможным более тщательный и точный анализ лопастей перспективных ветродвигателей. Поэтому, используя полученные в [1] материалы, была составлена программа расчета на ЭВМ, которая позволяет численно определить НДС лопаток из композиционного материала (КМ).

Исследования. Составлена программа, предназначенная для исследования НДС естественно-закрученных слоистых стержневых конструкций, которые находятся под совместным действием растягивающих сил, изгибающих и крутящих моментов или под действием центробежных сил. Каждый слой исследуемого сечения стержня состоит из ортотропного материала с 9 независимыми упругими постоянными. При этом целенаправленное регулирование общих свойств конкретного материала может быть осуществлено путем выбора как схемы укладки волокон в отдельном слое, так и расположением слоев с известными свойствами в сечении. Это достигается изменением углов φ_i между главными направлениями упругой симметрии материала в слое и осями, в которых исследуется НДС тела. При этом количество независимых упругих постоянных материала слоя в общем случае будет равно 13 [1].

Поперечное сечение рассматриваемых стержневых конструкций является произвольным. Входными параметрами программы являются координаты линии, ограничивающей отдельное произвольное плоское сечение, обычно задаваемое в рабочих чертежах проекта. Это линия разбивается на две части (условно называемое впредь "спинка" и "корытце"), к которым прилегают две наружные в сечении слоя. Координаты наружной поверхности упомянутых слоев задаются. Исходя из этих начальных данных с помощью специальной процедуры, сечение произвольной конфигурации разбивается на отдельные слои по заданной толщине t_c монослоя [3]. При этом формируются номера начала и конца каждого слоя. Такие построения проводятся для ряда следующих друг за другом сечений стержня (рисунок 1). Так как размеры сечения могут меняться вдоль длины стержня, то и число слоев в каждом сечении может оказаться различным. Это предопределяет появление коротких слоев внутри сечения. Взятые из разных сечений координаты начала и конца одного слоя определяют длину лепестка в текущем сечении стержня.

Рисунок 1 – Построенные слои поперечных сечений лопатки; номера сечений лопатки соответствуют сечениям, удаленным от ее корневого сечения



Следовательно, в программе решена технологическая задача "раскроя" каждого слоя стержня на лепестки в плоскостях, параллельных оси стержня.

Для исследования НДС слоистого стержня используются основные соотношения разработанной технической теории слоистых стержней [1-4]. На основе этой теории для каждого сечения вычисляются деформации растяжения ε , изменения кривизны χ_1, χ_2 и раскрутка τ , а также напряжения $\sigma_{11}^i, \sigma_{22}^i, \sigma_{33}^i, \sigma_{23}^i, \sigma_{13}^i, \sigma_{12}^i$ в отдельных точках слоя i .

Входными параметрами для программы являются растягивающее усилие P , изгибающие M_1, M_2 и крутящий M_t моменты, а также 13 упругих постоянных каждого слоя [1] для текущего слоя. Координаты и номера построенных точек слоев также являются входными параметрами для текущего сечения.

Для исследования НДС стержня в поле центробежных сил, растягивающее усилие, действующее в текущем сечении, вычисляется по формуле

$$P_r = P = \omega^2 \int_0^R \left(\int_{F(r_1)} \rho dF \right) r_1 dr_1 \quad (1)$$

где $F(r_1)$ – площадь поперечного сечения; r, R – расстояние от оси вращения до центра тяжести текущего r и периферийного R сечения соответственно (рисунок 2); $\omega = \pi \cdot N / 30$ угловая скорость (рад.обор./с.), где N – частота вращения (обор./мин.); r_1 – переменная интегрирования; ρ – плотность материала слоя сечения.

Таким образом, усилие P в текущем сечении r равно по величине центробежной силе инерции, развиваемой частью слоистого стержня, заключенной между рассматриваемым сечением r и периферийным сечением R .

Для вычисления центробежного усилия по формуле (1) и координат центра тяжести текущего сечения необходимы данные о геометрических характеристиках всех сечений. Для этого сначала вычисляются с помощью специальной процедуры 15 геометрических характеристик и приведенные плотности всех сечений.

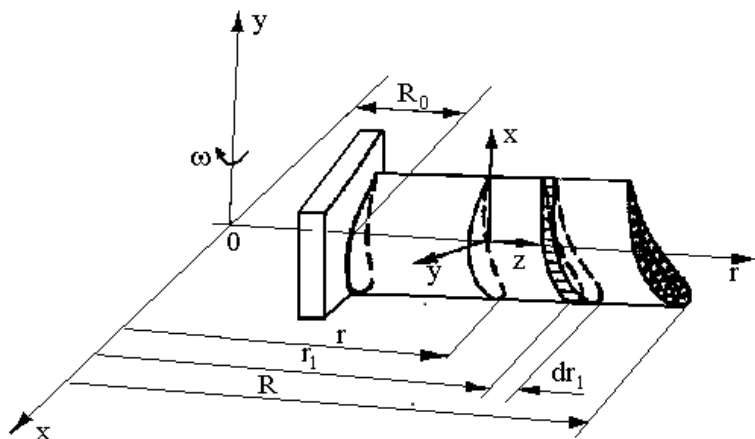


Рисунок 2 –
Расстояния от оси вращения до центра тяжести текущего r и периферийного R сечения

Вычисляется центробежное усилие для текущего сечения r по приближенной аппроксимационной для (1) формуле

$$P_r = \omega^2 \sum_{i=1}^R \int_{r_i}^{r_{i+1}} F \rho r_1 dr, \quad (2)$$

в которой площадь и плотность текущего сечения изменяются линейно относительно предыдущего сечения, т.е.

$$F = F_i + (r_1 - r_i)(F_{i+1} - F_i)/(r_{i+1} - r_i), \quad (3)$$

$$\rho = \rho_i + (r_1 - r_i)(\rho_{i+1} - \rho_i)/(r_{i+1} - r_i).$$

Далее для текущего сечения исследуется НДС слоистого стержня. Определяются деформации растяжения ε , изменения кривизны χ_1 , χ_2 и раскрутка τ , вычисляются физико-геометрические характеристики слоя и всего сечения.

Программа, используемая в описанных ниже расчетах, в настоящее время используется для анализа НДС лопастей на этапе эскизного проектирования.

Рассматриваемая модель лопасти является вариантом натурной лопасти ротора ветроэнергетической установки. Это лопасть была спроектирована и изготовлена с таким расчетом, чтобы соблюдалась конструктивная и аэродинамическая эквивалентность реальной лопасти. Лопасть, исследуемая в данной работе, представлена тремя сечениями. На рисунке 3 приведены изменения наибольшей толщины c_{\max} , относительный угол закрутки τ_0 в зависимости от r . Длина хорды постоянная и равна 130 мм., $N=1000$ об./мин., длина от корневого до периферийного сечения 375 мм.

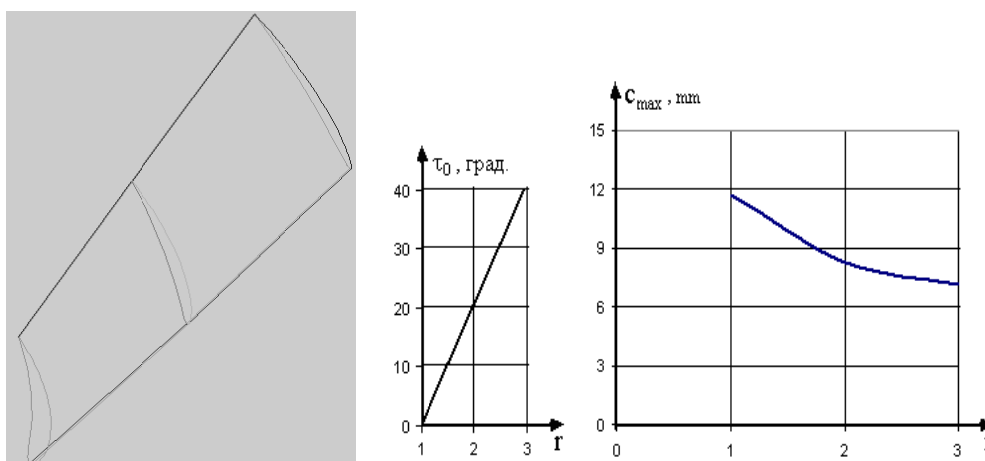


Рисунок 3 – Изменение угол закрутки на единицу длины лопасти τ_0 и c_{\max} по длине лопасти

Расчетные варианты. В качестве примера по описанной программе была рассчитана лопасть из композиционного материала в поле центробежных сил. При этом было проведено исследование для трех различных вариантов сочетаний упругих постоянных в пакете слоев композиционной лопасти.

В первом варианте рассматривалась лопасть, состоящая из чередующихся со стороны спинки и корытца слоев керамики (SiC).

Во втором варианте рассматривалась лопасть, состоящая из чередующихся со стороны спинки и корытца слоев бороалюминия (BAL).

В третьем варианте рассматривалась лопасть, состоящая из чередующихся со стороны спинки и корытца слоев стеклопластика.

Анализ результатов расчетов. Растягивающее усилие P при вращении лопасти вычислено по формуле (1) для каждого ее сечения r/R_0 . Усредненные значения растягивающих напряжений $\sigma_{\text{ср}}$ в условной незакрученной лопасти достигают наибольшего значения во втором сечении. Это связано с тем, что усилие P в третьем сечении отличается от усилия в корневом на 15%, в то время как их площади отличаются на 40%. Для лопаток 2-го типа усредненные напряжения $\sigma_{\text{ср}}$ превышают соответствующие величины в лопатках 1, 3 типов. Это связано с тем, что в лопатке 2-го типа имеется более высокий уровень центробежных нагрузок.

По результатам расчетов построены изолинии распределения нормального перемещения W по длине лопасти для спинки и корытца (рисунок 4). Как видно из рисунка нормальные перемещения W на периферийном сечении имеют максимальные значения. На входной кромке спинки от корневого сечения до третьего сечения перемещения W растут 4-5 раз, а на тонких выходных кромках они растут 10 раз. Распределение нормального перемещения W на спинке более равномерно по сравнению с корытцем лопасти. На корытце концентрация больших перемещений W наблюдается уже во втором сечении лопасти. Поэтому, чтобы увеличить прочность лопасти необходимо слой со стороны корытца заменить материалами более жесткими на растяжение.

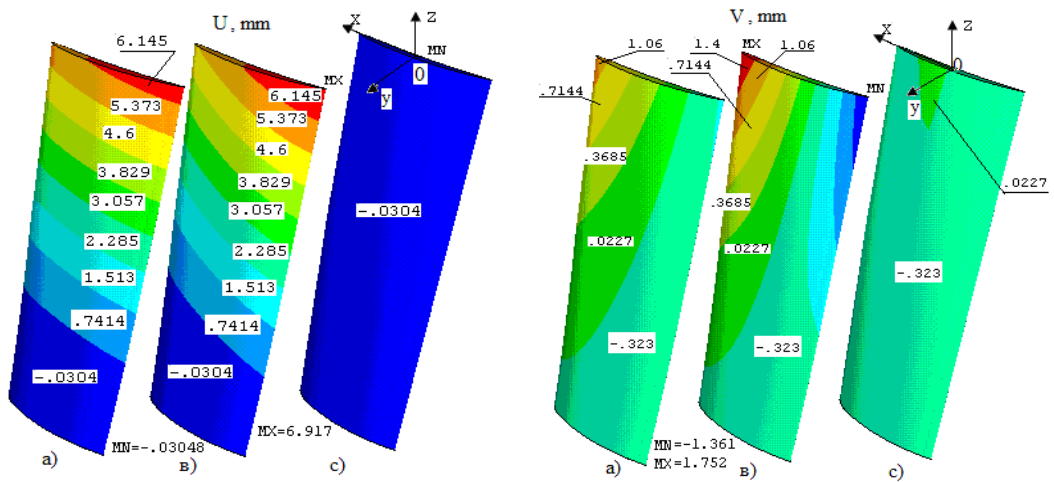


Рисунок 4 – Распределение перемещений U и V на спинке по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

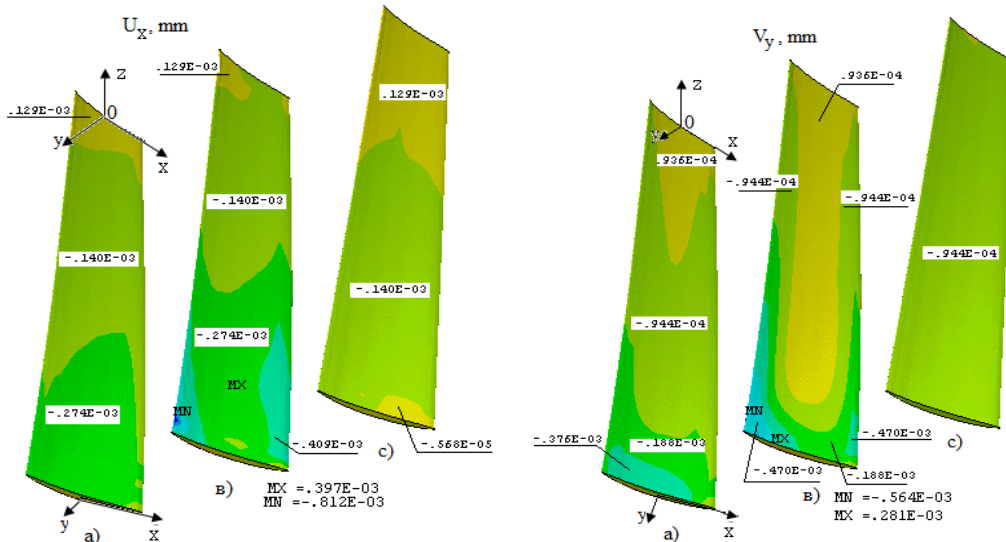


Рисунок 4 – Распределение деформации U_x и V_y на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

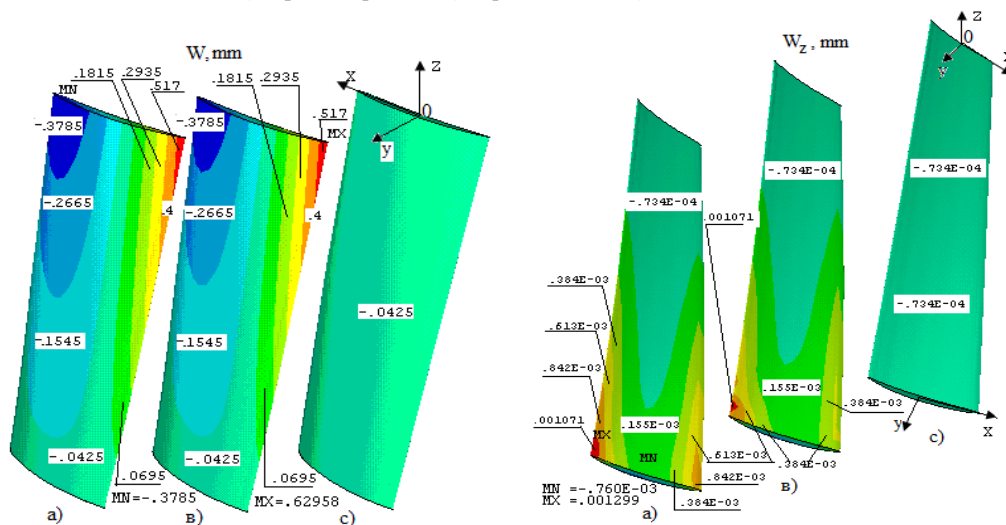


Рисунок 4 – Распределение перемещений W на спинке и деформации W_z на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

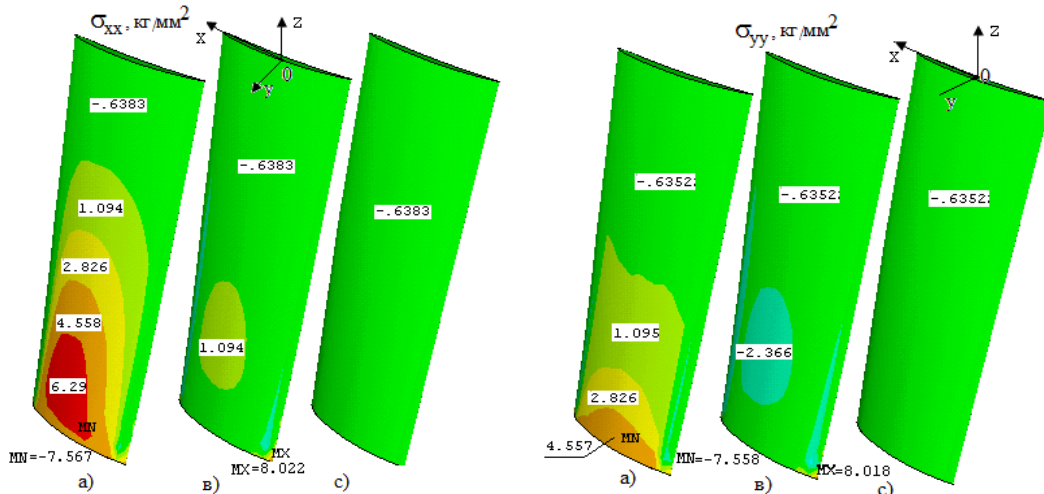


Рисунок 5 – Распределение напряжения σ_{xx} и σ_{yy} на спинке по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

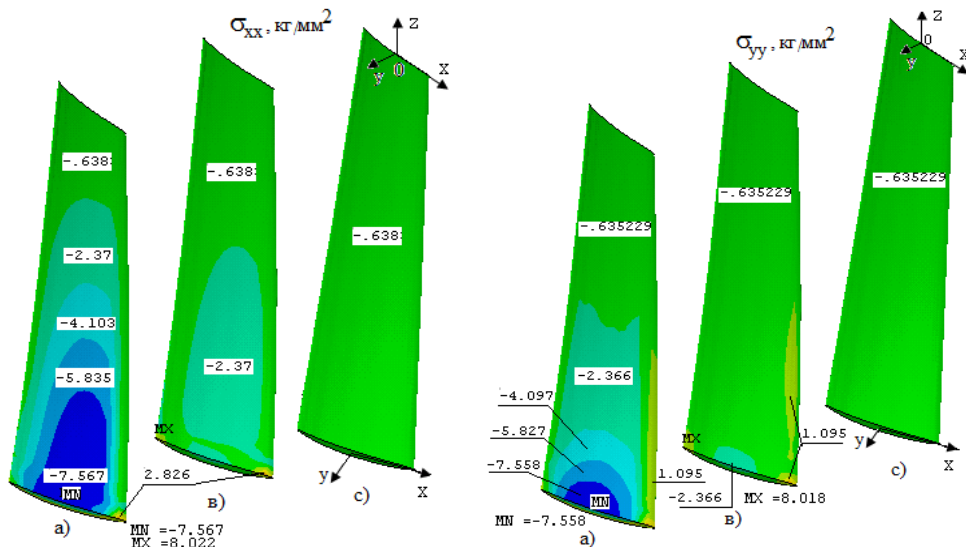


Рисунок 5 – Распределение напряжения σ_{xx} и σ_{yy} на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

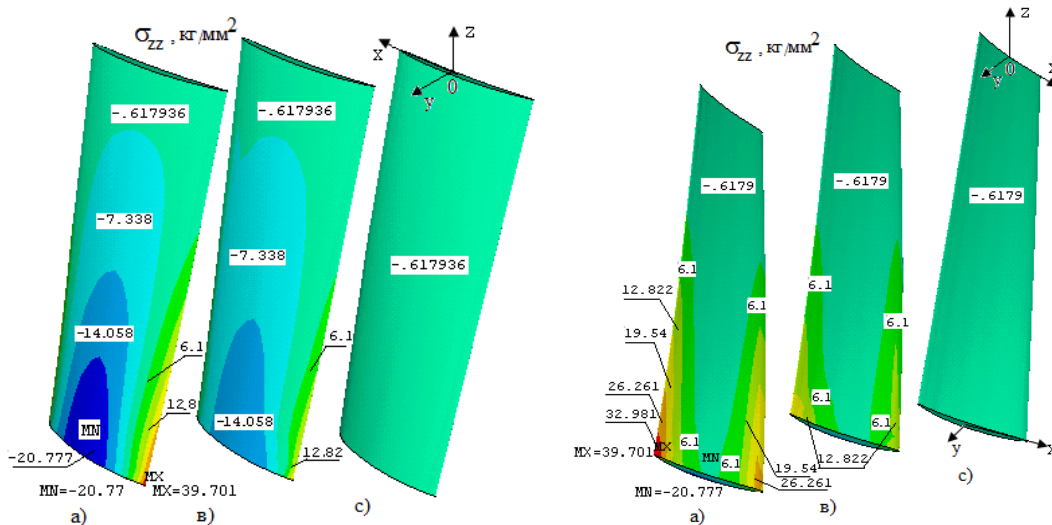


Рисунок 5 – Распределение нормального напряжения σ_{zz} на спинке и на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

На рисунке 5 приведено распределение нормальных напряжений σ_{zz} на спинке и на корытце по длине лопатки. Наибольшее нормальное напряжение распределено на корневом сечении лопатки (точка М), так как корневое сечение лопатки жестко закреплено. Если это не учитывать, то наибольшие напряжения достигаются во втором сечении лопатки и концентрация нормальных напряжений на корытце больше 1,5-2 раза по сравнению нормальными напряжениями на спинке. Концентрация нормальных напряжений на третьем сечении меньше 9-10 раз по сравнению с его значениями на корневом сечении.

На рисунке 6 приведено распределение касательных напряжений σ_{yz} на спинке и на корытце по длине лопатки. Наибольшие касательные напряжения распределены на втором сечении лопатки. Локальное наибольшее растягивающее касательное напряжение σ_{yz} достигается на корневом сечении у входной кромки спинки, а сжимающее – на выходной кромке корытца и его значение (точка N) больше в 2 раза по сравнению с значениями σ_{yz} у входной кромки спинки (точка М). Как известно, в тонких слоях такие концентрации касательных напряжений могут привести к местной потере прочности лопатки. Вследствие этого возникновение вышеуказанных величин касательных напряжений в лопатках может оказаться не допустимым. Экспериментально установлено, что запас прочности по касательным напряжениям между слоями в настоящее время не должно быть меньше трех [3].

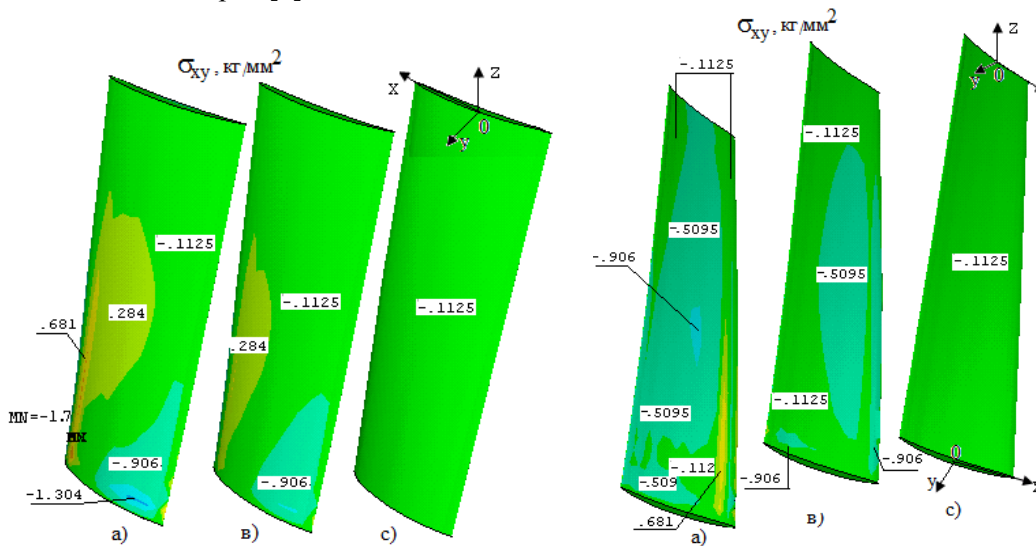


Рисунок 6 – Распределение касательного напряжения σ_{xy} на спинке и на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

На рисунке 7 приведено распределение касательных напряжений σ_{xz} на спинке и на корытце по длине лопатки. Наибольшие касательные напряжения распределены на втором сечении лопатки. Локальное наибольшее растягивающее касательное напряжение σ_{xz} достигается на втором сечении на спинке, а сжимающее – на корытце. Касательные напряжения σ_{xz} по величине в два раза меньше, чем касательные напряжения σ_{yz} и распределяются относительно на толстых слоях спинки и корытца. Поэтому по сравнению с касательными напряжениями σ_{yz} их влияние на общую прочность лопатки незначительны.

Касательные напряжения σ_{xy} своего наибольшего значения достигают во втором сечении (точка N) (рисунок 8). По сравнению с значениями касательных напряжений σ_{yz} , σ_{xz} , касательное напряжение σ_{xy} незначительно. Поэтому его можно не учитывать при расчетах.

На рисунке 9 приведена деформация лопатки относительно оси Ox (пунктирные линии). Наибольшее изменение происходит на третьем сечении лопатки. Значение сжимающей деформации относительно оси Ox на выходной кромке в 3 раза больше чем на входной кромке лопатки. Вследствие этого в тонких слоях выходной кромки могут происходить местные потери прочности и поэтому эти слои необходимо заменить материалами со свойствами более прочными на сжатие.

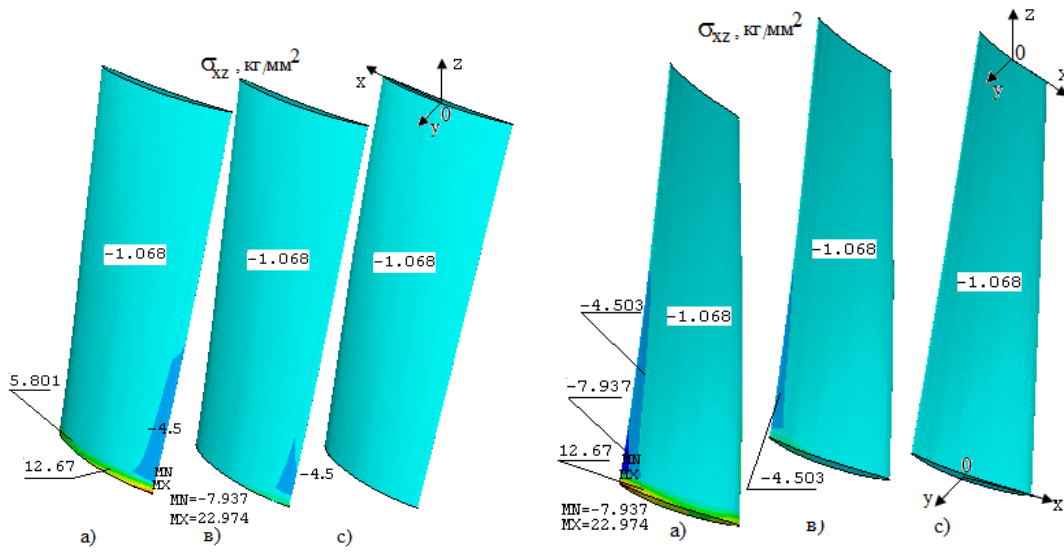


Рисунок 7 – Распределение касательного напряжения σ_{xz} на спинке и на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

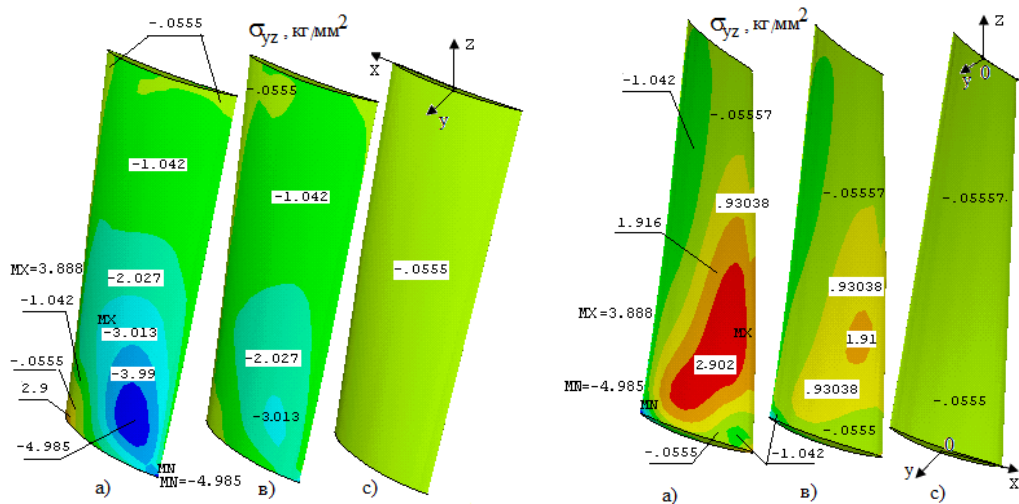


Рисунок 8 – Распределение касательного напряжения σ_{yz} на спинке и на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

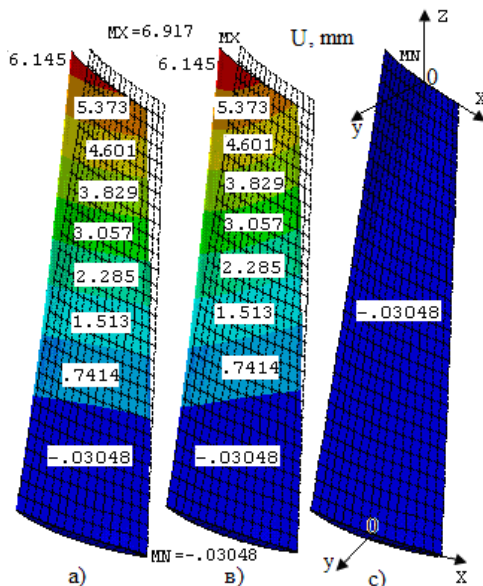


Рисунок 9 – Распределение перемещения U относительно оси Ox (пунктирные линии) на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

На рисунке 10 приведена деформация лопатки относительно оси Oy (пунктирные линии). Наибольшее изменение происходит на третьем сечении лопатки. Значение растягивающих деформации относительно оси Oy на выходной кромке в 2 раза больше чем на выходой кромке второго сечения лопатки и по своему значению больше в 3 раза чем сжимающая деформация относительно оси Ox . Следовательно, в тонких слоях выходной кромки, чтобы избежать потери прочности от сжимающих и растягивающих деформации, эти слои необходимо заменить материалами со свойствами более прочными на растяжение и сжатие.

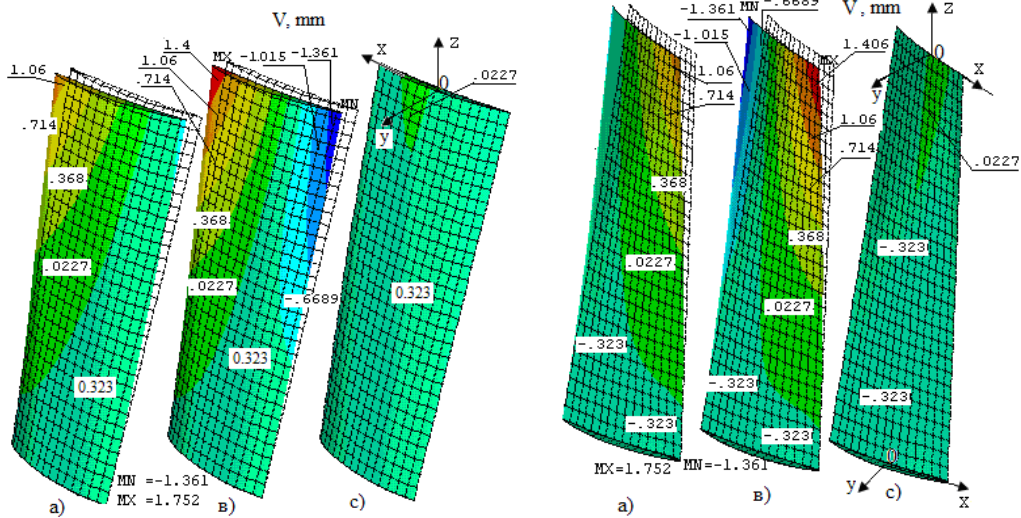


Рисунок 10 – Распределение перемещении V относительно оси Oy (пунктирные линии) на спинке и на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

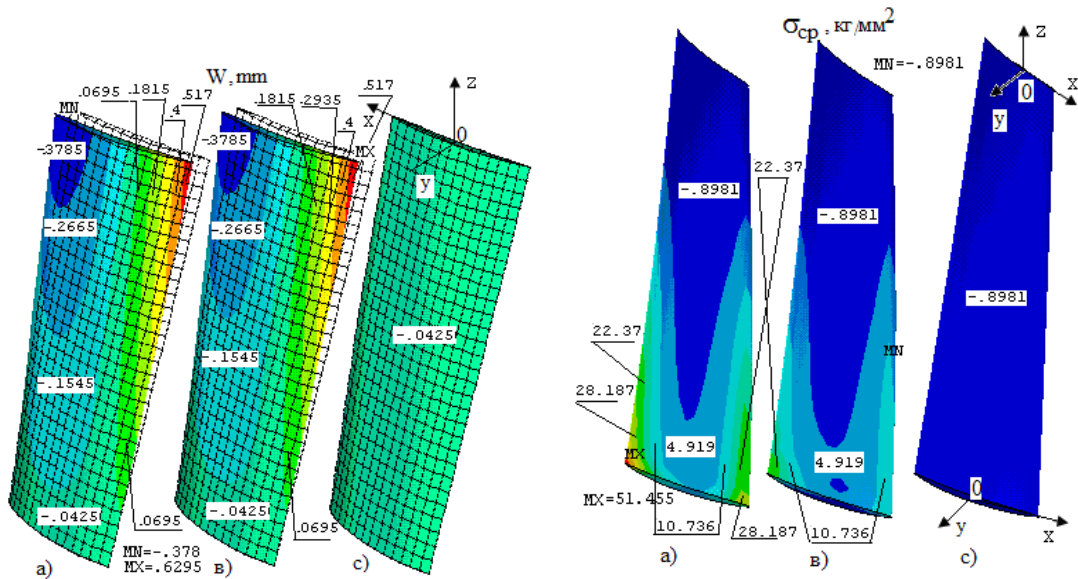


Рисунок 10 – Распределение перемещении W относительно оси Oz (пунктирные линии) на спинке и результирующего среднего напряжения на корытце по длине лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

На рисунке 11 приведены изолинии распределения нормального напряжения σ_{zz} во 2, 3 сечениях лопатки. Из рисунка видно, что зона концентрации нормального напряжения σ_{zz} на корытце больше по своему значению на 20% от нормальных напряжении σ_{zz} на спинке и наибольшие нормальные напряжения происходят на втором сечении лопатки. Наибольшие нормальные напряжения σ_{zz} происходят в близлежащих к центру тяжести слоях корытца и концентрация нормальных напряжении 2-го сечения больше 2-3 раза значении нормальных напряжении 3-го сечения лопатки. Вследствие этого необходимо подбирать материалы слоев близлежащих к центру тяжести сечения с свойствами более прочными на растяжение.

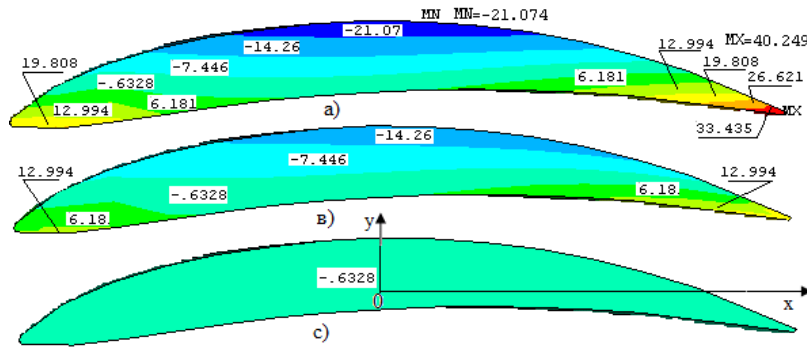


Рисунок 11 – Распределение нормального напряжения σ_{zz} (кг/мм²) во 2-ом сечении лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

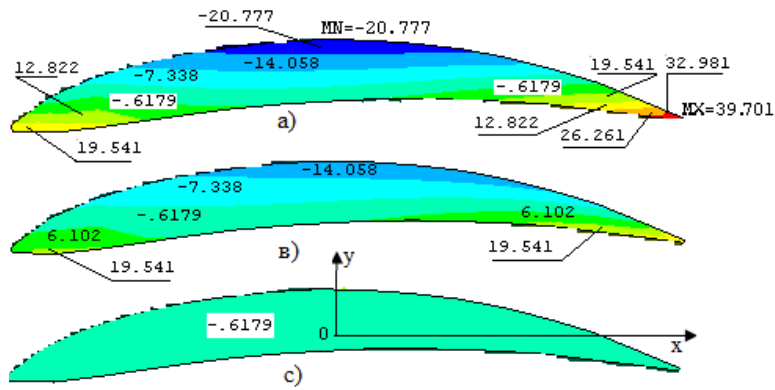


Рисунок 11 – Распределение нормального напряжения σ_{zz} (кг/мм²) в 3-ем сечении лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

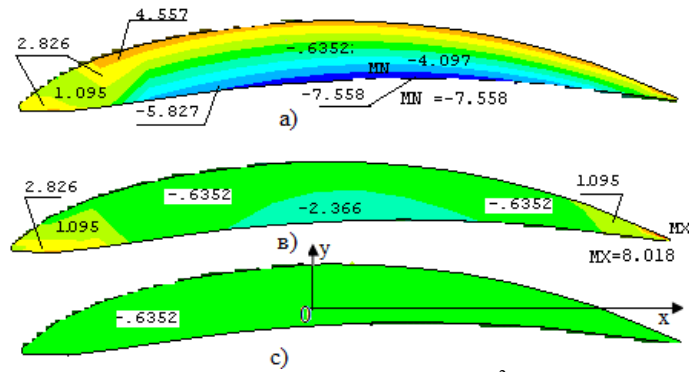


Рисунок 11 – Распределение напряжения σ_{yy} (кг/мм²) во 2 сечении лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

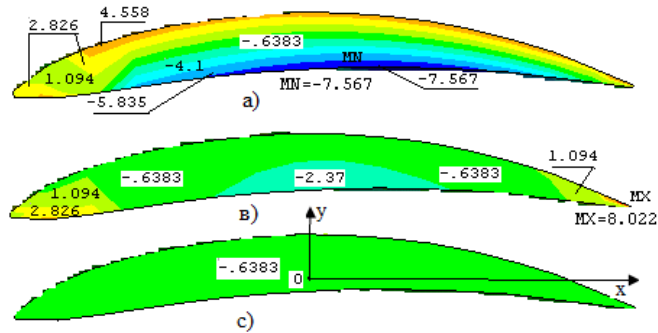


Рисунок 11 – Распределение напряжения σ_{xx} (кг/мм²) во 2 сечении лопатки из а) карбида кремния в) бороалюминия с) стеклопластика

Таким образом, распределения касательного напряжения σ_{xy} во 2, 3 сечениях лопатки показывают, что зона концентрации касательного напряжения σ_{xy} меньше по своему значению на 200-300% от нормальных напряжений σ_{zz} и наибольшие касательные напряжения σ_{xy} происходят на третьем сечении лопатки. Наибольшие касательные напряжения σ_{xy} происходят в близлежащих к центру тяжести слоях корытца и концентрация касательных напряжений 3-го сечения больше 20-30 раз от значения касательных напряжений 2-го сечения лопатки. В тонких слоях (3 сечение) входной и выходной кромки лопатки сжимающие касательные напряжения распределены равномерно и их значения от наибольшего значения (в близлежащих к центру тяжести слоях) сжимающего касательного напряжения больше чем на 4 раза. Поэтому материалы в слоях близлежащих к центру тяжести должны иметь свойства более прочные на растяжение и сжатие.

Изолинии распределения касательного напряжения σ_{yz} во 2, 3 сечениях лопатки показывают, что зона распределения касательного напряжения σ_{yz} меньше по своему значению в 40-50 раз от нормальных напряжений σ_{zz} и наибольшие касательные напряжения σ_{yz} происходят на втором сечении лопатки. Наибольшие растягивающие касательные напряжения σ_{yz} распределяются в слоях входной кромки лопатки и по своему значению незначительны.

Изолинии распределения касательного напряжения σ_{xz} во 2, 3 сечениях лопатки показывают, что зона распределения касательного напряжения σ_{xz} меньше по своему значению в 4-5 раз от нормальных напряжений σ_{zz} и наибольшие касательные напряжения σ_{xz} происходят на втором сечении лопатки. Наибольшие растягивающие касательные напряжения σ_{xz} распределяются в слоях на средней части спинки, а на корытце - сжимающие касательные напряжения. В тонких слоях (2 сечение) выходной кромки лопатки сжимающие касательные напряжения распределены равномерно и по своему значению незначительны. Наибольшие касательные напряжения σ_{xz} по своему значению больше в 5-10 раз по сравнению с значениями касательного напряжения σ_{yz} и от значения нормального напряжения меньше в 4-5 раз. Поэтому для слоистых тонких стержней учет влияния касательного напряжения σ_{xz} необходим.

Выводы. Таким образом, в исследованных примерах показано, что путем выбора материала отдельных слоев или способа армирования в них можно в широких пределах управлять уровнями напряжений и деформаций при одних и тех же физических оборотах ротора. Для лопаток из изотропного материала такой широкой возможности регулирования не имеется.

Таким образом, при заданной геометрической форме лопатки, выбираемой из аэродинамических соображений, посредством перекрестного армирования ее слоев уровень напряжений σ_{zz} можно уменьшить, одновременно избежав больших сжимающих напряжений на кромках профиля и достичь более равномерного распределения их (σ_{zz}) по сечению.

Проведенные расчеты лопаток конкретных типов показали, что угол раскрутки периферийного сечения лопатки можно уменьшить, как увеличивая жесткость на кручение посредством пере-крестного армирования слоев, так и применяя в пакете материала слоев из жесткого материала на растяжение. При возрастании уровня отношения характеристик жесткости слоев, неравномерность нормальных напряжений в поперечном сечении и величина касательных напряжений между слоями увеличиваются. Наличие больших касательных напряжений между слоями возникает из-за различной жесткости контактирующих слоев. Необходим плавный переход свойств материала от слоя к слою.

Численные исследования естественно-закрученных стержней из КМ выявили зависимость угла раскрутки и степени неравномерности распределения нормальных напряжений в поперечном сечении от коэффициента упругости c_{mn}^i слоя i , а также взаимосвязанность деформации растяжения и раскрутки при растяжении [1].

Анализ работы многослойных КМ, в условиях близких к рабочим условиям лопаток позволил выявить ряд особенностей распределения напряжений в армированных материалах. Установлено, что при растяжении лопаток из КМ, в поле центробежных сил во внешних слоях происходит увеличение нормальных напряжений в 2-4 раз по сравнению со средними их величинами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Нуриббетов А.У. Техническая теория кручения композиционного слоистого стержня произвольного сечения // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11, № 5. – С. 94-101.
- [2] Нуриббетов А.У., Туреханова Г.И., Жанбосынов Р.С. Деформация естественно-закрученных многослойных анизотропных стержней при кручении и растяжении // Materiály IX mezinárodní vědecko – praktická konference «Moderní využití vědy – 2013». – Díl 73. Technické vědy: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o – 96 stran. С. 17-22.
- [3] Нуриббетов А.У. Автоматизированное проектирование раскроя деталей произвольного поперечного сечения из слоистых композиционных материалов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». – 2009. – № 3. – С. 97-106.
- [4] Нуриббетов А.У., Шевченко И.В. Оптимизация напряженно-деформированного состояния слоистых композиционных лопаток и стержней произвольного сечения в поле центробежных сил // Авиационная промышленность. – М., 2009. – № 4. – С. 34-41.

REFERENCES

- [1] Nurimbetov A.U. Technical theory of torsion of composite layered rod of arbitrary cross-section // *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 2009, Vol. 11, N 5, p. 94-101 (in Russ.).
- [2] Nurimbetov A.U., Turehanova G.I., Zhanbosynov R.S. Deformation of naturally-swirled multilayered anisotropic torsional and tensile rods // *Díl 73. Technické vědy: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o* - 96 stran, p. 17-22 (in Russ.).
- [3] Nurimbetov A.U. Automated design of cutting parts of arbitrary cross-section of laminated composite materials // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija «Inženernye issledovanija»*, 2009, N 3, p. 97-106 (in Russ.).
- [4] Nurimbetov A.U., Shevchenko I.V. Optimization of stressed-strained state of layered composite blades and cores of arbitrary section in centrifugal force field // *Aviacionnaja promyšlennost'*, M., 2009, N 4, p. 34-41 (in Russ.).

**ОРТАЛЫҚ ЖҮГІРМЕ КҮШТЕР ӨРІСІНДЕГІ ҚАБАТТАРЫ
ӨРТҮРЛІ ФИЗИКО-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ ИЕ ҚӨП ҚАБАТТЫ
КОМПОЗИТТІК ҚАЛАҚШАЛАРДЫҢ КЕРНЕУЛІ КҮЙІН ОҢТАЛАНДЫРУ**

А. У. Нуриббетов, С. А. Орынбаев, А. Б. Бекбаев, Б. К. Байбутанов

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: қалақша, майыстыру, созу, деформация, кернеу, шыныпластик.

Аннотация. Жұмыста кескіндісі кез-келген қабатты композитті білікті майыстырудың техникалық теориясын қолданып, орталық жүгірме күштер өрісіндегі қабатты композиттік қалақшалардың кернеулі-деформациялық күйін сан күйінде анықтауға арналған бағдарлама құрастырылды. Бұралған қабатты композиттік қалақша біріккен созушы, майыстырушы және бұраушы күштердің немесе орталық жүгірме күштер әсеріне ортасында. Бағдарламада қалақшаны білік осіне қатар жазықтықтарды жапырақтарға кескіндеудің технологиялық мәселесі шешілген. Жұмыста зерттелген қалақша үш кескін түрінде қабылданған.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 32 – 38

FORMATION OF HARMFUL DUST AND GAS EMISSIONS COMPONENTS IN THE COMBUSTION PROCESSES

A. Askarova, S. Bolegenova, S. Bolegenova,
Z. Gabitova, A. Ergalieva, M. Beketayeva, Sh. Ospanova

Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: gabitova.zarina@mail.ru

Key words: combustion, combustion chamber, burners, pulverized state, dust and gas emissions, nitrogen and carbon oxides, computer simulation

Abstract. The main purpose of this work is to study the concentration fields of harmful dust and gas emissions components of the combustion products of high-ash Ekibastuz coal. In this regard, the object of research is real boiler BKZ-160, located on the Almaty CHP-3 (Kazakhstan). The studies were conducted using the FLOREAN software package, based on the use of numerical methods for computer simulation. Basic research method is the method of control volume, that helps to solve complex differential equations of heat and mass transfer and receipt of numerical values in the vicinity of the nodes of the computational grid.

The study of concentration fields of carbon and nitrogen oxides during combustion of polydispersed coal flame in the furnace chamber of real boiler was conducted. Particle size distribution was $d_p = 10$ microns - 10%; $d_p = 30$ microns - 20%; $d_p = 60$ microns - 40%; $d_p = 100$ microns - 20%; $d_p = 120$ micron - 10%. The results of computational experiments allow to know the character of the processes, as well as maximum, minimum and average concentrations of combustion products.

It is shown that the basic chemical reactions occur in the region of the burners, where the concentration of the fuel and oxidizer reactants is the greatest. This is evidenced by the maximum on the distribution of CO and NO_x, which corresponds to the real picture of the process in the combustion chamber. The distribution pattern of carbon dioxide does not match the field CO, which shows the differences in the formation of CO₂ and CO. Basic education of carbon dioxide CO₂ occurs to the exit of the furnace, which is connected with afterburning CO.

УДК 536.46.:532.517.4

ФОРМИРОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ПЫЛЕГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ГОРЕНИЯ

А. С. Аскарова, С. А. Болегенова, С. А. Болегенова,
З. Х. Габитова, А. Б. Ергалиева, М. Т. Бекетаева, Ш. С. Оспанова

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: горение, топочная камера, горелки, пылевидное состояние, пылегазовые компоненты, оксиды азота и углерода, компьютерное моделирование.

Аннотация. Целью настоящей работы является исследование концентрационных полей вредных пылегазовых компонентов продуктов сгорания высокозольного Экибастузского угля. В связи с этим, в качестве объекта исследований был выбран реальный котел БКЗ-160, расположенный на Алматинской ТЭЦ-3 (Казахстан). Исследования проводились с помощью программного комплекса FLOREAN, основанного на использовании численных методов компьютерного моделирования. Основной метод исследований – метод контрольного объема – заключается в решении сложных дифференциальных уравнений тепломассопереноса и получении численного значения в окрестностях узлов расчетной сетки.

Было проведено исследование концентраций оксидов углерода и азота при горении полидисперсного пылеугольного факела в камере сгорания котла. Распределение частиц по размерам $d_p=10$ мкм – 10%; $d_p=30$ мкм – 20%; $d_p=60$ мкм – 40%; $d_p=100$ мкм – 20%; $d_p=120$ мкм – 10%. Полученные в результате вычислительных экспериментов данные позволяют узнать характер происходящих процессов, а также максимальные, минимальные и средние значения концентраций продуктов горения.

Показано, что основные химические реакции происходят в области расположения горелок, где концентрации реагирующих топлива и окислителя наибольшее. Об этом свидетельствуют максимумы на кривых распределения CO и NO_x, что соответствует реальной картине процесса в камере сгорания. Характер распределения диоксида углерода CO₂ не соответствует полю CO, что говорит об отличиях в процессе образования CO₂ и CO. Основное образование диоксида углерода CO₂ происходит по мере удаления от центра топki, что связано с догоранием CO.

Казахстан обладает богатыми энергетическими ресурсами, такими как нефть, газ, уголь и уран. Однако добыча и использование этих ресурсов вызывают многочисленные экологические проблемы. Сжигание энергетических топлив для получения тепла, электроэнергии вызывает выбросы частиц оксидов углерода, серы и азота. [1]

На производство тепла и электроэнергии в Казахстане приходится около 50% потребляемого топлива. Общая мощность электрогенерирующих источников в Республике Казахстан составляет более 18 тыс. МВт, около 87% основы которых составляют ТЭС. Около 38% всей генерирующей мощности (6,7 тыс. МВт) составляют теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с совместной выработкой тепла и электроэнергии. [2]

В связи с этим, исследования в области прогрессивных технологий по совершенствованию энергетических установок по сжиганию пылеугольного топлива и использования альтернативных методов организации процесса горения являются в настоящее время наиболее актуальными для всего энергетического комплекса Республики Казахстан.

В данной работе вычислительные эксперименты проводились на основе решения трехмерных уравнений конвективного теплопереноса с учетом распространения тепла, теплового излучения, химических реакций и многофазности среды. Для описания трехмерного движения реагирующих течений в камере используется система дифференциальных уравнений:

1. Закон сохранения массы или уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial (\rho u_j)}{\partial x_j} \quad (1)$$

2. Закон сохранения импульса или уравнение движения

Баланс импульса основывается на втором законе Ньютона – изменение импульса жидкости в контрольном объеме равно сумме всех внешних (поверхностных и эффективных объемных) сил, приложенных к данному контрольному объему.

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} = - \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{i,j}}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho f_i, \quad (2)$$

где $\tau_{i,j}$ – тензор напряжений; f_i – объемные силы.

3. Закон сохранения энергии

Уравнение энергии базируется на первом начале термодинамики

$$\frac{\partial (\rho h)}{\partial t} = - \frac{\partial (\rho u_i h)}{\partial x_i} - \frac{\partial q_i^{\text{res}}}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \tau_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + S_q, \quad (3)$$

где h – энтальпия;

4. Закон сохранения для компоненты вещества

В изотропной среде, состоящей из β компонент, компоненты могут двигаться с различными скоростями $u_{i,\beta}$. Для баланса массы β – компоненты среды можно запишем:

$$\frac{\partial (\rho c_\beta)}{\partial t} = - \frac{\partial (\rho c_\beta u_i)}{\partial x_i} - \frac{\partial j_i}{\partial x_i} + R_\beta, \quad (4)$$

где c_β – массовая концентрация; j_i – диффузионный поток; R_β – источник вещества.

Для моделирования турбулентной вязкости и замыкания системы использовалась стандартная $k-\varepsilon$ модель турбулентности. Модель включает в себя:

- уравнение переноса турбулентной кинетической энергии k :

$$\frac{\partial(\bar{\rho}k)}{\partial t} = \frac{\partial(\bar{\rho}u_j k)}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P - \bar{\rho} \cdot \varepsilon, \quad (5)$$

Здесь P – производство кинетической энергии турбулентности:

$$P = \left[\mu_{turb} \cdot \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \cdot \bar{\rho} \cdot k \cdot \delta_{ij} \right] \cdot \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}. \quad (6)$$

- уравнение диссипации турбулентной кинетической энергии ε :

$$\frac{\partial(\bar{\rho}\varepsilon)}{\partial t} = \frac{\partial(\bar{\rho}u_j \varepsilon)}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon,1} \cdot \frac{\varepsilon}{k} \cdot P - C_{\varepsilon,2} \cdot \frac{\varepsilon^2}{k} \cdot \bar{\rho}, \quad (7)$$

где $\bar{\rho}\varepsilon$ – преобразование кинетической энергии пульсационного движения во внутреннюю энергию (диссипация); $\sigma_k, \sigma_\varepsilon$ - соответствующие турбулентные числа Прандтля.

Турбулентная вязкость μ_{turb} определяется с помощью соотношения Прандтля-Колмогорова

$$\mu_{turb} = c_\mu \bar{\rho} \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (8)$$

где c_μ – эмпирическая константа. [3]

В качестве объекта исследования в данной работе был выбран реальный промышленный энергетический котел БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3 (рисунок 1). На ТЭЦ-3 установлено 6 котельных агрегатов БКЗ-160, паропроизводительность каждого из которых 160 т/час.

По боковым сторонам топочной камеры расположены 4 блока прямоточных щелевых горелок (по 2 горелки в блоке), направленных по касательной к внутренней окружности. Каждая горелка имеет один канал аэросмеси и два канала вторичного воздуха, расположенные сверху и снизу канала аэросмеси и разделенные футерованными простенками. Верхняя и нижняя горелки также разделены простенком, в центре которого смонтирована мазутная форсунка для растопки и подсветки факела.

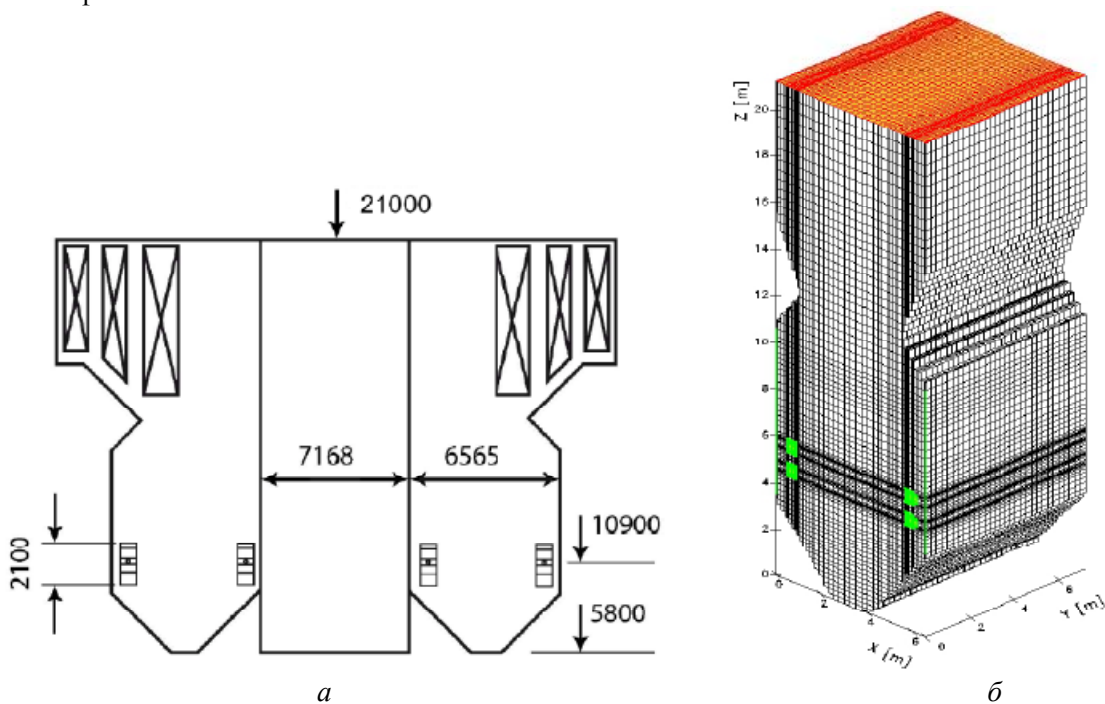


Рисунок 1 – Схема топочной камеры котла БКЗ-160 (а) и разбивка ее на контрольные объемы (б)

Влияние летучих веществ существенно на начальной стадии горения топлива: чем выше выход летучих веществ, тем быстрее воспламеняется топливо и тем глубже оно выгорает. Но выброс летучих веществ не должен превышать определенных норм, принятых в каждом регионе. Кроме основных компонентов, образующихся в результате сжигания органического топлива (углекислого газа и воды), выбросы ТЭС содержат пылевые частицы различного состава, оксиды серы, оксиды азота, фтористые соединения, оксиды металлов, газообразные продукты неполного сгорания топлива.

В целях оптимизации более эффективной технологии «чистого» сжигания топлива, необходимо смоделировать этот процесс. Численное моделирование проведено при помощи компьютерного пакета программ, проверенного в результате вычислительных экспериментов на ряде ТЭС РК [2-3]. Ниже приведены картины распределения концентрации оксидов углерода и азота (CO , CO_2 , NO_x) (рисунки 2-5) для полидисперсного факела.

Механизм горения угля сложен и выяснен еще недостаточно. В результате сгорания образуются CO и CO_2 , причем каждый из этих газов может быть первичным или вторичным продуктом:

- Первичный: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ и $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
- Вторичный: $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ и $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$

Оксид углерода (CO) – бесцветный газ, не имеющий запаха, известен также под названием «угарный газ» – образуется в результате неполного сгорания ископаемого топлива (угля, газа, нефти) в условиях недостатка кислорода и при низкой температуре. При вдыхании угарный газ за счёт имеющейся в его молекуле двойной связи образует прочные комплексные соединения с гемоглобином крови человека и тем самым блокирует поступление кислорода в кровь. График распределения минимальных, средних и максимальных значений концентрации окиси углерода представлен на рисунке 2.

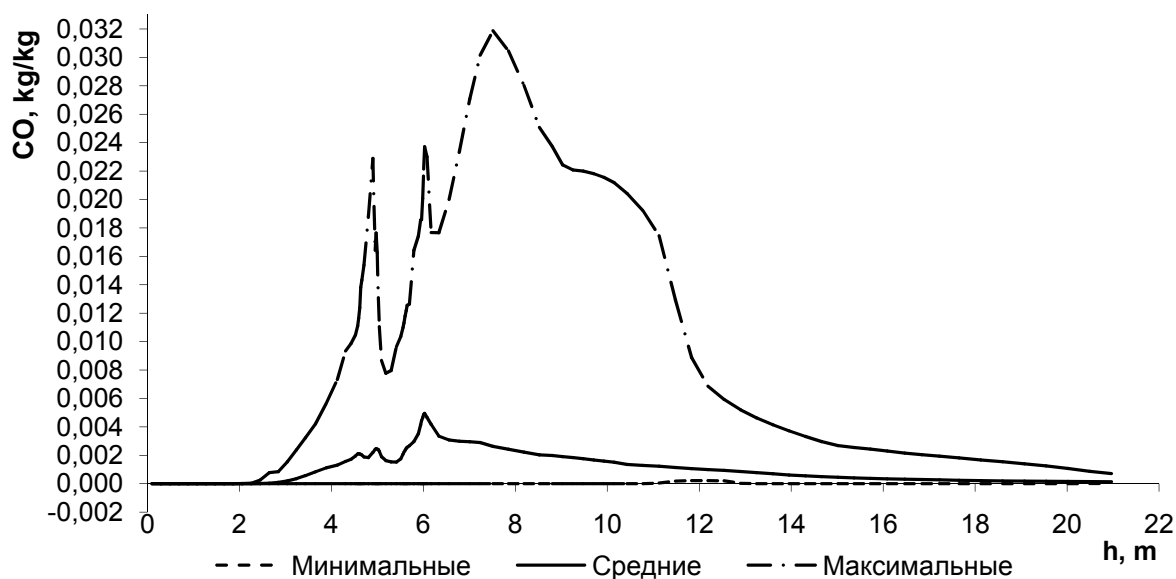


Рисунок 2 – График распределения концентрации CO для полидисперсного факела по высоте топочной камеры

Двуокись углерода (CO_2), или углекислый газ, – бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом относят к удушающим газам. Является одним из парниковых газов, вследствие чего принимает участие в процессе глобального потепления. Постоянный рост уровня содержания этого газа в атмосфере наблюдается с начала индустриальной эпохи. На рисунке 3 представлено распределение концентрации диоксида углерода.

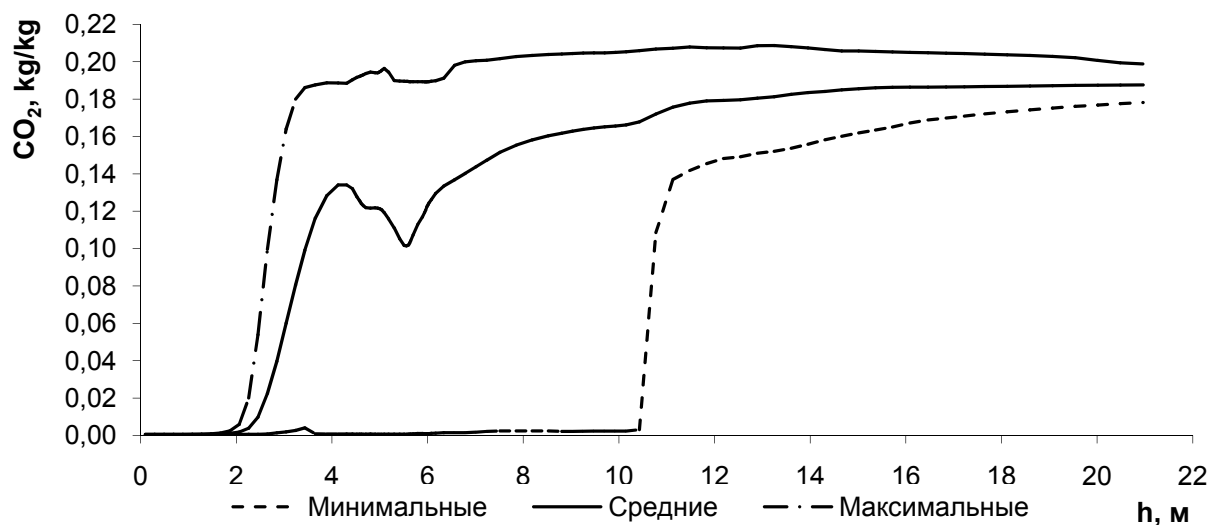


Рисунок 3 – График распределения концентрации CO_2 для полидисперсного факела по высоте топочной камеры

Оксиды углерода являются одними из самых токсичных загрязнителей атмосферного воздуха, которые являются продуктами неполного сгорания. Оксиды углерода составляют около половины от общего количества всех вредных веществ, которые попадают в атмосферный воздух. Немалая часть их поступает с дымовыми газами.

При проектировании топочных камер всегда нужно учитывать, что углерод может реагировать с кислородом разными способами. Любые технологии сжигания должны обеспечивать полное смешивание топлива с кислородом до полного сгорания с образованием CO_2 , а не CO . В противном случае тепловыделение резко снизится, поскольку при образовании CO выделяется лишь 28% той энергии, которая выделяется при образовании CO_2 .

Анализ рисунков 2-3 показывает, что характер и картина образования двуокиси углерода CO_2 и окиси углерода CO различна. Пик максимальных значений для концентрации CO приходится на область расположения горелочных устройств. Это связано с интенсивным физико-химическим взаимодействием между углеродом топлива, кислородом окислителя и повышенными значениями температуры в этой области. Значения концентраций оксида углерода CO для полидисперсного факела меняются на всей протяженности топочного пространства в зависимости от высоты топки (рисунок 2). На выходе из камеры сгорания топочное пространство обеднено кислородом, химические процессы образования оксида углерода CO затухают, но именно в этой области происходит восстановление CO_2 из CO , соответственно концентрация CO_2 увеличивается (рисунок 3).

На выходе из топочной камеры средние и максимальные значения концентрации двуокиси углерода для полидисперсного факела составляют 0,1876 и 0,1988 кг/кг, а значения оксида углерода $1,35 \cdot 10^{-4}$ кг/кг и $7,07 \cdot 10^{-4}$ кг/кг соответственно.

Оксиды азота: NO , NO_2 , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 – результат взаимодействия азота с кислородом. Эти оксиды относятся к вредным веществам. Около 40% от общего количества выбрасываемых в атмосферу оксидов азота приходится на долю тепловых электростанций. В топках при горении топлива образуется 95-99% монооксида азота NO и 1-5% более токсичного диоксида азота NO_2 .

Картина распределения минимальных, средних и максимальных значений концентрации NO и NO_2 полидисперсного факела по высоте топочного пространства представлена на рисунках 4, 5. Как видно из представленных графиков наиболее интенсивное газообразование основных азотосодержащих компонентов происходит в области распространения потоков из горелок, т.е. там, где в максимальном объеме присутствуют топливо и окислитель, что соответствует реальной картине процесса в камере сгорания. При этом характер распределения концентраций в этих плоскостях неоднозначен, что говорит о сложном, нелинейном характере процесса образования указанных веществ в этой области.

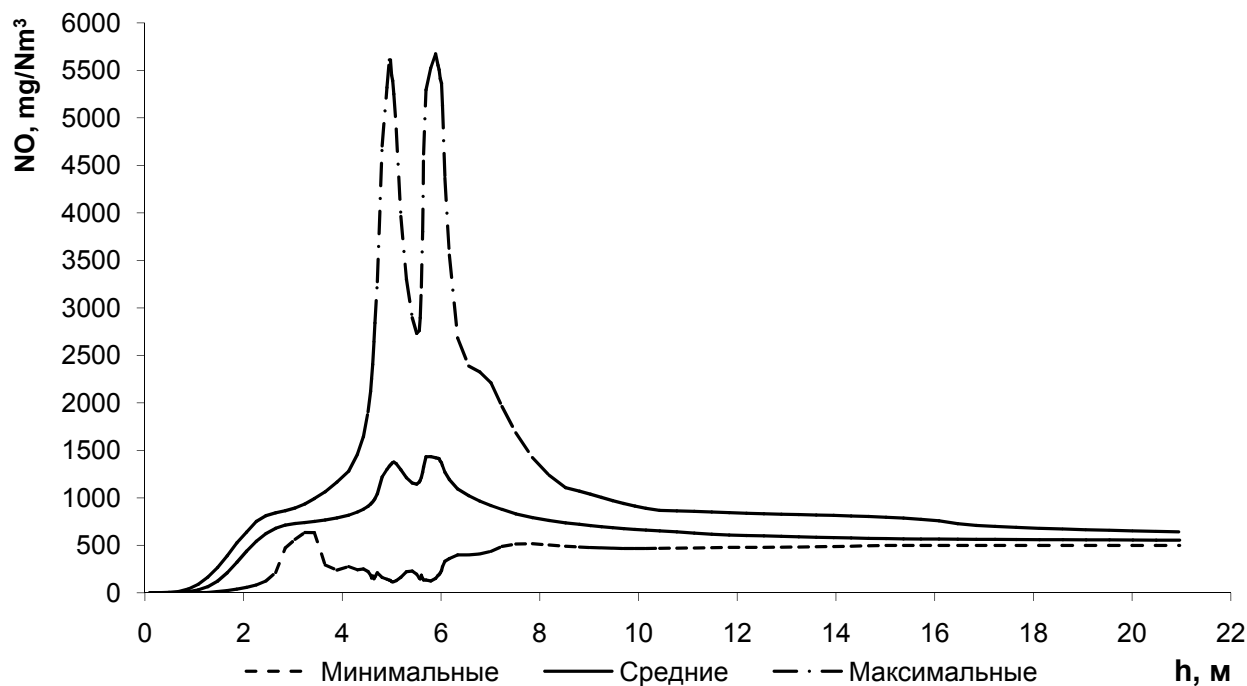


Рисунок 4 – График распределения концентрации NO для полидисперсного факела по высоте топочной камеры

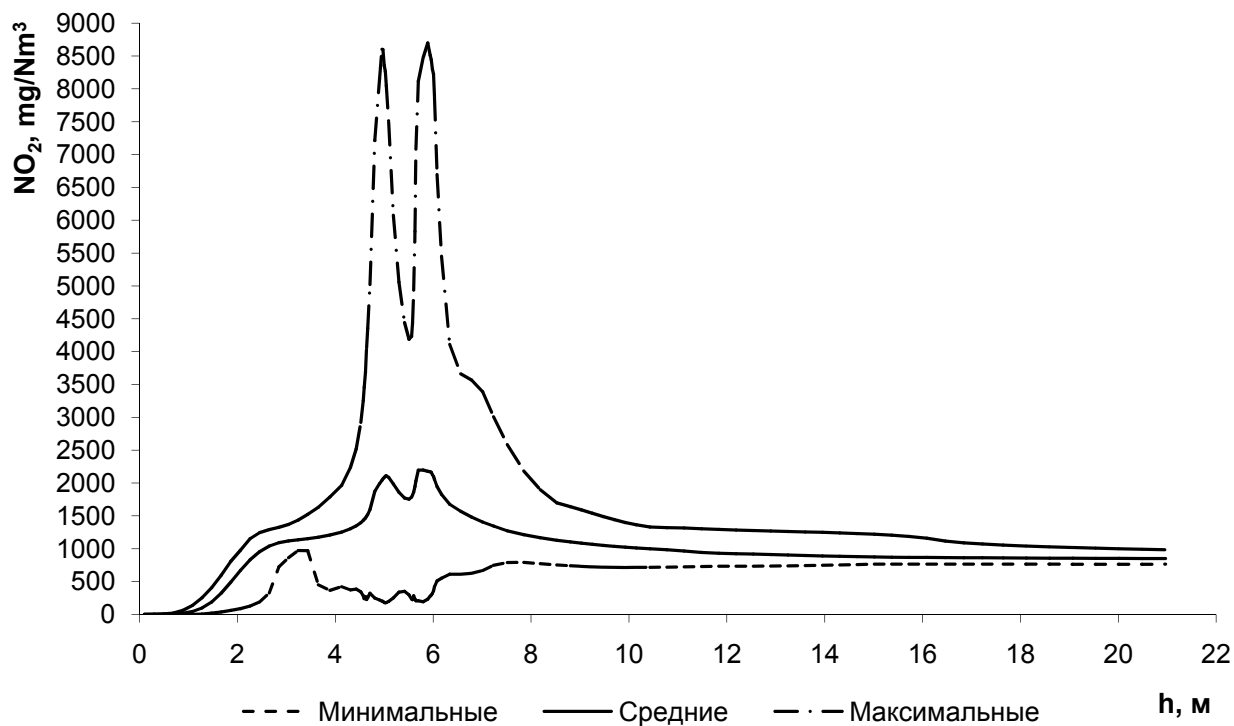


Рисунок 5 – График распределения концентрации NO₂ для полидисперсного факела по высоте топочной камеры

Выводы. Исследованы поля концентраций продуктов реакции CO, CO₂, NO и NO₂ при горении полидисперсного пылеугольного факела, имеющего следующее распределение угольных частиц по фракциям: d_p=10 мкм – 10%; d_p=30 мкм – 20%; d_p=60 мкм – 40%; d_p=100 мкм – 20%; d_p=120 мкм – 10%. Показано, что в области расположения горелок происходят основные реакции реагирования углерода с образованием окиси углерода, о чем свидетельствуют максимумы на кривых распределения CO и NO_x, что соответствует реальной картине процесса в камере сгорания. Картина распределения окиси углерода CO₂ не соответствует полю CO, что говорит об отличиях в процессе образования CO₂ и CO. Основное образование диоксида углерода CO₂ происходит по мере удаления от центра топки, что связано с догоранием CO.

На выходе из топочной камеры средние и максимальные значения концентрации двуокиси углерода для полидисперсного факела составляют 0,1876 и 0,1988 кг/кг, а значения оксида углерода 1,35·10⁻⁴ кг/кг и 7,07·10⁻⁴ кг/кг соответственно.

Средние значения оксида азота на выходе составляет 554,65 мг/Нм³, в то время как для диоксида азота – 850,39 мг/Нм³.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Carol Dahla, Karlygash Kuralbayeva. Energy and the environment in Kazakhstan // *Energy Policy*. – May 2001. – Vol. 29. – Issue 6. – P. 429-440.
- [2] Умбетова Ш.М. Техногенные отходы предприятий энергетики и пути их вторичной переработки // *Вестник КазНТУ*. – 2009. – № 4. – С. 72-75. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://vestnik.kazntu.kz/?q=kk/node/189>
- [3] Askarova A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov V., Beketayeva M., Ospanova Sh. Gabbitova Z.K. Investigation of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ 420 combustion chamber // *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*. – 2014. – Vol. 9. – P. 39-50.

REFERENCES

- [1] Carol Dahla, Karlygash Kuralbayeva. Energy and the environment in Kazakhstan. *Energy Policy*, **2001**, Vol. 29, Issue 6, p. 429–440 (in Eng.)
- [2] Umbetova Sh.M. Man-made waste of energy enterprises and ways of their recycling. *Vestnik KazNTU*, **2009**, № 4(74), p. 72–75. [Elektronnyi resurs] Rezhim dostupa. URL: <http://vestnik.kazntu.kz/?q=kk/node/189> (in Russ.)
- [3] Askarova A., Bolegenova S., Bekmukhamet A., Maximov V., Beketayeva M., Ospanova Sh. Gabbitova Z.K. Investigation of turbulence characteristics of burning process of the solid fuel in BKZ 420 combustion chamber. *WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer*, **2014**, Volume 9, p. 39-50 (in Eng.)

ЖАНУ ПРОЦЕССИ ҮДЕРІСІНДЕ ЗИЯНДЫ ШАҢГАЗДЫ ҚАЛДЫҚТАР КОМПОНЕНТТЕРІНІҢ ҚАЛЫПТАСУЫ

А. С. Аскарова, С. А. Болегенова, С. А. Болегенова,
З. Х. Габитова, А. Б. Ергалиева, М. Т. Бекетаева, Ш. С. Оспанова
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: жану, жану камерасы, жанарғылар, тозанды күй, шаңгазды қалдықтар, азот және көміртегі тотықтары, компьютерлік модельдеу

Аннотация. Осы жұмыстың мақсаты - күлділігі жоғары Екібастұз көмірінің жану кезіндегі зиянды шаң мен газтекті жану өнімдерінің концентрациялық өрістерін зерттеу. Осыған орай, зерттеу объектісі ретінде Алматы ЖЭО-3 (Қазақстан) орналасқан, жылжымайтын БКЗ-160 қазандығы таңдалды. Зерттеулер компьютерлік моделдеуде сандық әдістерді қолданатын FLOREAN программалық комплексі арқылы жүргізілді. Зерттеудің негізгі әдісі – бақылаушы көлем әдісі – жылу масса тасымалдаудың күрделі дифференциалдық тендеулерін шешуге және есептік тордың түйіндерінде сандық мәліметтер алуға негізделген.

Қазандықтың жану камерасында полидисперстік көмірдің жануы барысында азот пен көміртегі оксидтерінің концентрациясына зерттеу жүргізілді. Бөлшектердің мөлшері бойынша таралуы: d_p = 10 мкм - 10%; d_p = 30 мкм - 20%; d_p = 60 мкм - 40%; d_p = 100 мкм - 20%; d_p = 120 мкм - 10%. Есептік эксперименттер нәтижелері өтіп жатқан процестің сипатын, сонымен қатар минимал, максимал және орташа мәндерін анықтауға мүмкіндік берді. Негізгі химиялық реакциялар отын концентрациясы мен тотықтырғыш реагенттерінің әсерлесуші аймағында ең жоғары екендігі көрсетілді. Бұл жану камерасында процестің нақты сипатына сәйкес максимум CO және NO_x мәндеріне дәлел. Көміртегі диоксидінің бөліну үлгісі CO₂ және CO-нің қалыптасуында айырмашылықтарды көрсетеді, ол өріс CO бөлінуіне сәйкес келмейді. Көміртегі диоксиді CO₂ көміртегі тотығының қазандықтың центрінен қашықтай бере толық жануына байланысты түзіледі.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 39 – 43

**THE THEORY OF DISTRIBUTION
OF ELECTROMAGNETIC WAVES THROUGH
TWO-COMPONENT CRYSTAL OPTICAL LENSES****A. U. Umbetov**

Arkalyk state pedagogical institute named after I. Altynsarin, Arkalyk, Kazakhstan.

E-mail: umbetov.a@mail.ru

Key words: hertzian waves, double-base lenses, anisotropic, theory of Maxwell, method of calculation, paraxial approximating.

Abstract. Calculations for distribution the electromagnetic waves in the anisotropic environments (monoaxial and biaxial crystals) with application of the electromagnetic theory of Maxwell have certain difficulties. Within this theory by means of a covariant method various characteristics of reflected and broken waves on the boundary of the section of monoaxial and two-axis crystals in isotropic environment were considered. However the covariant method brings to difficult general aspects, and its use in a task of finding the direction of transfer of energy relating to the two-component crystal optical systems is presented as difficult or not amenable to the analytical decision. In this work the new method of calculation of distribution of electromagnetic waves through the two-component crystal optical systems is developed.

УДК 533.09.01

**ЭЛЕКТРОМАГНИТТІ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ
ЕКІ ҚҰРАМДЫ КРИСТАЛДЫ ОПТИКАЛЫҚ
ЛИНЗАЛАРДАН ӨТУ ТЕОРИЯСЫ****А. У. Умбетов**

Ы. Алтынсарин атындағы Арқалық мемлекеттік педагогикалық институты, Арқалық, Қазақстан

Тірек сөздер: электромагниттік толқындар, екікомпонентті линзалар, анизотропты, Максвелл теориясы, ковариантты әдіс, есептеу әдісі, параксиалды жуықтау.

Аннотация. Анизотропты (бір және екі ості кристалдар) ортада электромагнитті толқындардың таралуын есептеуге Максвелдің электромагнитті теориясын қолдану күрделі болып келеді. Осы теория шеңберінде ковариантты әдістің көмегімен бір және екі ості кристалдардың біртекті ортамен шекарасында шағылған және сынған толқындардың әр түрлі сипаттамалары үлкен қызығушылық туғызады. Соңғы кездері анизотропты ортада жарықтың таралуын талдауға қатысты әдіске жаңа қадамдар жасалынууда. Дегенмен де ковариантты әдіс күрделі өрнектерге алып келеді, олардағы энергияның тасымалдану бағытын екі құрамды кристалды оптикалық жүйелер үшін қолдану қиындық туғызады немесе аналитикалық шешуге мүмкіндік бермейді. Берілген жұмыста қойылған максаттарға жету үшін ең қарапайым және жеткілікті дәрежеде жалпылама болып келетін параксиалды жуықтау әдісі қолданылады.

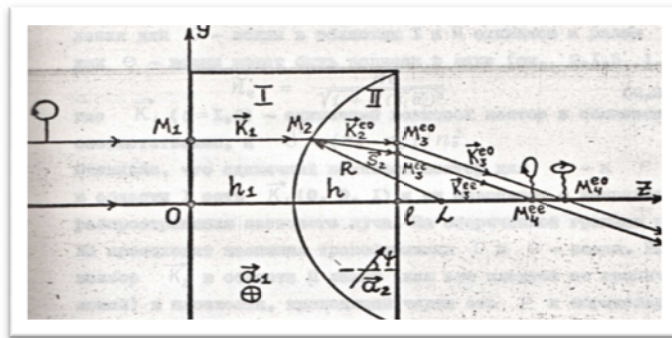
Анизотропты кристалдардан жасалынған оптикалық жүйелерді талдау және біріктіру теориялық түрде жеке қызығушылық тудырумен қатар оптикалық-электронды қондырғыларды құрудағы практикалық қызығушылықты да тудырады. Құрастырылған оптикалық лазерлік өлшеуіш құралдар мәліметтерді жеткізуде, тасымалдауда және өндеуде маңызды орын алады.

Кристалды оптикалық жүйелер жиілікті–модуляцияланған жарықты түрлендіруге, оптикалық екі өлшемді сигналдарды өңдеу үшін қажетті оптикалық сүзгіні құрастыруға мүмкіндік береді [1]. Анизотропты (бір және екі ості кристалдар) ортада электромагнитті толқындардың таралуын есептеуге Максвеллдің электромагнитті теориясын қолдану күрделі болатындығы көптеген жұмыстарда айтылған [2,3,4]. Осы теория шеңберінде ковариантты әдістің көмегімен [5] бір және екі ості кристалдардың біртекті ортамен шекарасында шағылған және сынған толқындардың әртүрлі сипаттамалары нақтылы қарастырылған. Анизотропты орта электродинамикасының сұрақтары (бір өлшемді толқындық теңдеулерді құру және оны шешудің матрицалы әдісі) [6] жұмыста талқыланған. Соңғы кездері анизотропты ортада жарықтың таралуын талдауға қатысты әдіске жаңа қадамдар жасалынды. Дәлірек айтқанда, де-Бройлдың корпускулалы толқындық қатынасы. Бұл қатынасты бөлшектің энергиясы мен қозғалыс мөлшерін оның жиілігі және толқынның толқындық векторымен байланыстырады. Осы жағдай энергияның тасымалдану бағыты мен толқынның таралу бағыты параллель болмаған кезде қолданылған [7]. Ковариантты әдіс күрделі өрнектерге алып келеді, ал оларды энергияның тасымалдану бағытын екі құрамды кристалды оптикалық жүйелер үшін қолдану қиындық туғызады немесе аналитикалық шешуге мүмкіндік бермейді.

Ең қарапайым және жеткілікті дәрежеде жалпылама болып келетін параксиалды жуықтау әдісі. Бұл әдіс келесі жолмен шешіледі. БЛ линза арқылы z осі бағытымен циркулярлы поляризацияланған жарық таралынсын (1-сурет). Түскен толқынның поляризациясының осындай күйде таңдап алынуы, поляризация векторының БЛ линзаның кірісінде кристалдың оптикалық осімен байланыста болуы маңызды болмайды. Бұл жағдай БЛ линзалар үшін құрылатын теорияларды біріктіруге мүмкіндік береді. $z = 0$ және $z = l$ БЛ линзаның сәйкес сол және оң қабырғалары болсын. Ал бөліктердің сферасық шекарасы келесі теңдеумен беріледі:

$$x^2 + y^2 + (z - \delta)^2 = R^2, \tag{1}$$

мұндағы δ - координаттар жүйесінің басынан БЛ-дің сфералық бетіне дейінгі қашықтық. $z=0$ және сфералық бет арасындағы бөлікті I цифрымен, ал қалған бөлігін II цифрымен (1-сурет) белгілейміз. Шекараның дөңестік бағыты δ шамасының таңбасымен анықталады. I және II бөліктердің оптикалық остерінің бағыттары сәйкес келесі бірлік векторлармен беріледі; $\vec{a}_1 = (1,0,0)$ және $\vec{a}_2 = (0, \sin\psi, \cos\psi)$. Мұндағы ψ бұрышы \vec{a}_2 векторының z осімен арасындағы бұрыш (1-сурет). БЛ-дің сол қабырғасында еркін алынған M_1 нүктесіне z осінің бағытымен жарықтың параллель сәулесі түссін. M_1 нүктесінің координатасы $(d \cos \varphi, d \sin \varphi, 0)$ болсын. Мұндағы φ X осі мен d-радиус-векторының арасындағы бұрыш. d- радиус-векторы координаттар басынан $z=0$ M_1 нүктесіне дейінгі қашықтық.



1-сурет – CaCO₃ бір ості кристалдан жасалынған екі құрамды кристалды линзадан (БЛ) электромагнитті толқынның таралуы

Кейіннен $d \ll R$ деп есептейміз, мұндағы R- БЛ сфералық шекарасының қыйсықтық радиусы. $(\frac{d}{R})^2$ шамасын ескермеуге болатын аз шама деп қарастырамыз. Кристалдың негізгі остеріндегі ди-электриктік өтімділік тензоры диагоналды және (2) қатынасымен беріледі. о-толқын (кәдімгі) үшін I және II бөліктерде сыну көрсеткіші бірдей және n_0 –ға тең, ал е-толқын(кәдімгі емес) үшін келесі түрде жазылады:

$$\tilde{n}_e = \frac{n_e}{\sqrt{1+\delta(\vec{k}_i \vec{a}_i)^2}} \quad (2)$$

мұндағы \vec{K}_i ($i=1,2$) – сәйкес I және II бөліктердегі бірлік толқындық ве

$$\delta = (n_e^2 - n_0^2) / n_0^2. \quad (3)$$

o - және e – толқындар үшін бірлік толқындық вектор I бөлікте $\vec{K}_1(0,0,1)$ түрінде беріледі және ол жарық сәулесінің таралу бағытымен сәйкес келеді. БЛ бөлігінің сфералық шекарасында o- және e-толқындардың өзара түрленуі жүреді. II бөліктегі вектор \vec{K}_2 z осі арқылы өтетін жазықтықта жатады және φ бұрышымен анықталады және келесі түрде жазылады:

$$\vec{k}_2 = \{ \sin d_2 \cos \varphi; \sin d_2 \sin \varphi; \cos d_2 \}, \quad (4)$$

мұндағы $\alpha_2 - \vec{K}_2$ және z осінің арасындағы бұрыш.

Енді \vec{K}_2 векторымен α_2 бұрышына келесідей индекстер белгілейміз: (oo),(oe), (eo), және (ee). (oo) индексі o-толқынның поляризациясын сақтай сынуын көрсетеді, (oe) индексі түскен o толқынның сынған e толқынға түрленгенін көрсетеді, тағы сол сияқтылар. Барлығы төрт толқын сәйкес төрт шекті шарттар қарастырылуы тиіс.

$\alpha_2^{oo} = 0$ мәніне тең.

α_2^{oe} бұрышы сфералық беттегі сыну заңынан анықталады.

$$n_0^2 \left[1 - (\vec{k}, \vec{n}_1)^2 \right] = \frac{n_e^2}{1 + \delta(\vec{k}_2^{oe} \vec{a}_2)^2} \left[1 - (\vec{k}_2^{oe} \vec{n}_1)^2 \right], \quad (5)$$

мұндағы $\vec{n}_1 = \left\{ \frac{d}{R} \cos \varphi; \frac{d}{R} \sin \varphi; -\sqrt{1 - \frac{d^2}{R^2}} \right\}$ – нормалдағы бірлік вектор. Сәуленің сфералық шекарамен қиылысу нүктесі келесідей координаттарға ие болады ($d \cos \varphi, d \sin \varphi, \delta - \sqrt{R^2 - d^2}$). (5) өрнегіне $\vec{n}, \vec{k}_1, \vec{k}_2^{oe}$ және \vec{a}_2 векторлардың мәнін қойып, алатынымыз:

$$\frac{n_0^2}{n_e^2} \frac{d^2}{R^2} (1 + \delta \cos^2 \varphi) = (\sin d_2^{oe} = \frac{d}{R})^2$$

осыдан шығатыны

$$d_2^{oe} = \frac{d}{R} \left(\frac{n_0}{n_e} \sqrt{1 + \delta \cos^2 \varphi} - 1 \right) \quad (6)$$

eo- толқын үшін сфералық беттегі сыну заңы келесі түрде жазылады:

$$\frac{n_e^2}{1 + \delta(\vec{k}_1 \vec{a}_1)^2} \left[1 - (\vec{n}_1 \vec{k}_1)^2 \right] = \left[1 - (\vec{n}_1 \vec{k}_2^{oe})^2 \right] n_0^2 \quad (7)$$

(7) өрнектен алатынымыз

$$d_2^{eo} = \frac{d}{R} \left(\frac{n_e}{n_0} - 1 \right) \quad (8)$$

ee- толқын үшін сфералық беттегі сыну заңы келесі түрде жазылады:

$$\frac{n_e^2}{1 + \delta(\vec{k}_1 \vec{a}_1)^2} \left[1 - (\vec{n}_1 \vec{k}_1)^2 \right] = \left[1 - (\vec{n}_1 \vec{k}_2^{ee})^2 \right] \frac{n_e^2}{1 + \delta(\vec{k}_1 \vec{a}_1)^2} \quad (9)$$

осыдан $\vec{k}_1, \vec{n}_1, \vec{k}_2^{ee}, \vec{a}_2$ және \vec{a}_1 векторлардың мәндерін ескере отырып, алатынымыз :

$$d_2^{ee} = \frac{d}{R} (\sqrt{1 + \delta \cos^2 \varphi} - 1) \quad (10)$$

Енді БЛ линзадан шығатын сәуленің бірлік толқындық векторын келесі түрде жазамыз:

$$\vec{k}_3 = \{ \sin d_3 \cos \varphi; \sin d_3 \sin \varphi; \cos d_3 \} \quad (11)$$

oo- толқын үшін алатынымыз: $\alpha_2^{oo} = 0$.

eo- толқын үшін $z = \ell$ шекарада сыну заңы келесі түрде жазылады :

$$n_0^2 \left[1 - (\vec{n}_1 \vec{k}_2^{eo})^2 \right] = \left[1 - (\vec{n}_1 \vec{k}_3^{eo})^2 \right], \quad (12)$$

мұндағы $\vec{n}_2 = (0,0,1) - z = \ell$ жазықтыққа тұрғызылған нормаль.

(11) өрнектен алатынымыз:

$$d_2^{eo} = \frac{d}{R} (n_e - n_0) \quad (13)$$

ео- толқын үшін (1) шарты келесі түрде жазылады:

$$\frac{n_e^2}{1 + \delta(\overline{k_2^{oe} a_1})^2} \left[1 - (\overline{n_2 k_2^{oe}})^2 \right] = \left[1 - (\overline{n_2 k_3^{oo}})^2 \right] \quad (14)$$

бұдан алатынымыз:

$$\alpha_3^{oe} = \frac{d}{R} \left(n_0 - \frac{n_e}{\sqrt{1 + \delta \cos^2 \psi}} \right) \quad (15)$$

ее - толқын үшін шекарадағы сыну заңы келесі түрде жазылады:

$$\frac{n_e^2}{1 + \delta(\overline{k_2^{ee} a_2})^2} \left[1 - (\overline{n_2 k_2^{ee}})^2 \right] = \left[1 - (\overline{n_2 k_2^{ee}})^2 \right] \quad (16)$$

бұдан алатынымыз:

$$\alpha_3^{ee} = \frac{d}{R} n_e \left(1 - \frac{n_e}{\sqrt{1 + \delta \cos^2 \psi}} \right) \quad (17)$$

(15) - (16) формулалар сәулелердің траекторияларын анықтауға мүмкіндік береді.

II бөліктегі топтық жылдамдықтың бірлік векторын \vec{S} белгілей отырып, келесі қатынаспен өрнектейміз:

$$\vec{S} = \mu_1 \vec{a}_2 + \mu_2 \vec{k}_2; \quad [\vec{S}] = 1 \quad (18)$$

(18) өрнектен алатынымыз:

$$(\vec{s} a_2) = \frac{n_e^2 (\vec{k}_2 a_2)}{\sqrt{n_e^4 (\vec{k}_2 a_2)^2 + n_0^4 [1 - (\vec{k}_2 a_2)^2]}} \quad (19)$$

μ_1 және μ_2 коэффициенттерін келесі жолмен анықтаймыз. (18) теңдеуді квадраттаймыз:

$$\mu_1^2 + \mu_2^2 + 2\mu_1 \mu_2 (\vec{k}_2 a_2) = 1 \quad (20)$$

(18) және (19) өрнектерден алатынымыз:

$$(\vec{s} a_2) = \mu_1 + \mu_2 (\vec{k}_2 a_2) = \frac{n_e^2 (\vec{k}_2 a_2)}{\sqrt{n_e^4 (\vec{k}_2 a_2)^2 + n_0^4 [1 - (\vec{k}_2 a_2)^2]}} \quad (21)$$

бұдан

$$(\vec{s} a_2)^2 = \mu_1^2 + 2\mu_1 \mu_2 (\vec{k}_2 a_2) + \mu_2^2 (\vec{k}_2 a_2)^2 = \frac{n_e^2 (\vec{k}_2 a_2)}{\sqrt{n_e^4 (\vec{k}_2 a_2)^2 + n_0^4 [1 - (\vec{k}_2 a_2)^2]}} \quad (22)$$

(20) өрнекті ескере отырып,

$$\mu_2 = \frac{n_e^2}{\sqrt{n_e^4 (\vec{k}_2 a_2)^2 + n_0^4 [1 - (\vec{k}_2 a_2)^2]}} \quad (23)$$

және (21) өрнегінің көмегімен алатынымыз:

$$\mu_1 = \frac{(n_e^2 - n_0^2) (\vec{k}_2 a_2)}{\sqrt{n_e^4 (\vec{k}_2 a_2)^2 + n_0^4 [1 - (\vec{k}_2 a_2)^2]}} \quad (24)$$

(23) және (24) өрнектерді (18) өрнекке қоя отырып, алатынымыз:

$$\vec{S} = \frac{[(n_e^2 - n_0^2) (\vec{k}_2 a_2) a_2 + n_0^2 \vec{k}_2]}{\sqrt{n_e^4 (\vec{k}_2 a_2)^2 + n_0^4 [1 - (\vec{k}_2 a_2)^2]}} \quad (25)$$

(25) өрнек БЛ линзадағы е-сәулелің траекториясын анықтау үшін қажет.

Бір ості исланд шпаты үшін $(\text{CaCO}_3)n_0 > n_e$, олай болса (15) өрнектен $\Psi = \frac{\pi}{2}$ болғанда $\alpha_3^{oe} > 0$ мәнін аламыз. Бұл дегеніміз о-сәулесі БЛ шыққан кезде Z осінен алшақтайды. Сондықтан БЛ линзаға түсетін параллель сәулелер берілген поляризацияда шашырайтын болады. ео- және ее- толқындар үшін (13) өрнектен және $\psi = 0$ болғанда (17) өрнектен $\alpha_3^{eo} < 0, \alpha_3^{ee} < 0$ мәндерін аламыз. Бұл дегеніміз ео- және ее- толқындар Z осін екі нүктеде қияды. Сонымен БЛ лизаның көмегімен жазық толқынды кеңістікте екі сфералық толқындарға бөле аламыз. Бұл сфералық толқындардың Z осіндегі фокустары әр түрлі болады. Бұл құбылыстың практикада үлкен маңызы бар.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Герке Р.Р., Денисюк Ю.Н., Локшин В.И. Методы контроля когерентности излучения ОКГ, применяемых в голографии // ОМП. – 1968. – № 7. – С. 22.
- [2] Федоров Ф.И., Филиппов В.В. Отражение и преломление света прозрачными кристаллами. – Минск: Наука, 1976.
- [3] Федоров Ф.И., Филиппов В.В. Об отражении и преломлении необыкновенных лучей в одноосного кристаллах // Кристаллография. – 1971. – Т. 16. – С. 36.
- [4] Федоров Ф.И., Филиппов В.В. Отражение света на границе одноосного кристалла с изотропная средой // Ж. прикл. спектроскопии. – 1968. – Т. 9. – С. 1031.
- [5] Статеселько Д.И., Денисюк Ю.Н. О влиянии структуры поперечных мод источника излучения на изображение, создаваемые голограммой // Оптика и спектроскопия. – 1970. – Т. 28. – С. 373.
- [6] Аракелян С.М., Ахманов С.А., Тункин В.Г., Чиркин А.С. Естественная спонтанным излучением // Пимьмо ЖЭТФ. – 1974. – Т. 19. – С. 57.

REFERENCES

- [1] Janossy M., Csilled L., Kantor K., phys. Lett., 19656, vol. 6, p. 106.
- [2] Gerke R.R., Denisyuk Yu.N., Lokshin V.I. Methods of controlling of JAG radiation coherence, used in holography. OMP, 1968, N 7, p. 22.
- [3] Fedorov F.I., Filippov V.V. Reflection and refraction of light by transparent crystals. Minsk: Science, 1976.
- [4] Fedorov F.I., Filippov V.V. About reflection and breaking of extraordinary rays in uniaxial crystals. Crystallography, 1971, vol. 16, p. 36.
- [5] Fedorov F.I., Filippov V.V. Reflection of light on the edge of a uniaxial crystal with isotropic environment. Zh., applied spectroscopy, 1968, vol. 9, p. 1031.
- [6] Stateselko D. I., Denisyuk Yu.N. About an impact of structures of transverse modes of the radiation source to the images created by hologram. Optics and spectroscopy, 1970, vol. 28, p. 373.
- [7] Akhmanov S.A., Arakelyan S., Tunkin V.G., Chirkin A.S. Natural spontaneous radiation. Lletter to JETP, 1974, vol. 19, p. 57

**ТЕОРИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН
ЧЕРЕЗ ДВУХКОМПОНЕНТНЫЕ КРИСТАЛЛООПТИЧЕСКИЕ ЛИНЗЫ****А. У. Умбетов**

Аркалыкский государственный педагогический институт им. И. Алтынсарина, Аркалык, Казахстан

Ключевые слова: электромагнитные волны, двухкомпонентные линзы, анизотропные, теория Максвелла, метод расчета, параксиальное приближение.

Аннотация. Расчеты по распространению электромагнитных волн в анизотропных средах (одноосных и двuosных кристаллах) с применением электромагнитной теории Максвелла имеют определенные трудности. В рамках этой теории с помощью ковариантного метода были рассмотрены различные характеристики отраженных и преломленных волн на границе раздела одноосных и двuosных кристаллов в изотропной среде. Однако ковариантный метод приводит к сложным общим выражениям, а его использование в задаче нахождения направления переноса энергии применительно к двухкомпонентным кристаллооптическим системам представляется затруднительным или не поддающимся аналитическому решению. В данной работе разработан новый метод расчета распространения электромагнитных волн через двухкомпонентных кристаллооптических систем.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 44 – 48

**STIMULATION OF CHANGES IN THE PHYSICAL
CHARACTERISTICS OF POLYCRYSTALLINE SILICON
BY THERMAL TREATMENT**

T. Kosherov, M. Bolatov, Yu. Ermolayev

Kazakh National Technical University named after K. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

E-mail: slidelabb@gmail.com

Key words: oxide formation, crystallization, thermal processing, structural and phase changes.

Abstract. In this work the features of changes in the surface of polycrystalline silicon under the influence of a fixed temperature treatment in varying time of heating are identified. There is shown that under isothermal effects the silicon surface is covered by oxide formations of SiO₂ and other small in numbers oxides and silicides of admixtures. There is a height of pyramidal educations gradually passing to the burn-off of surface and crystallization at the increase of duration of annealing. The phase and structural changes of silicon are examined.

УДК 536.4:621.315.592

**СТИМУЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Т. С. Кошеров, М. Б. Болатов, Ю. В. Ермолаев

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

Ключевые слова: оксидные образования, кристаллизация, термическая обработка, структурные и фазовые изменения.

Аннотация. В работе выявлены особенности изменения поверхности поликристаллического кремния при действии фиксированной температурной обработки в условиях разного времени прогрева. Показано, что при изотермических воздействиях поверхность кремния покрывается оксидными образованиями SiO₂ и другими малочисленными оксидами и силицидами примесей. Наблюдается рост пирамидальных образований, постепенно переходящих к оплавлению поверхности и кристаллизации при увеличении длительности отжига. Рассматриваются фазовые и структурные изменения кремния.

Электронное возбуждение, деформация решетки и увеличение температуры могут привести к увеличению энергий образования дефектов, при этом концентрация дефектов достигает значений от 10¹⁹ до 10²¹ см³. Такая неравновесная концентрация точечных дефектов может привести к флуктуационному образованию скопления точечных дефектов, которые при определенных условиях трансформируются в дислокационные петли [1, 2]. Рост дислокации обусловлен стоком на них точечных дефектов и созданием неоднородных напряжений в окружающей среде.

С другой стороны, работа приборов существенно зависит от свойств и структуры образца, от качества его поверхности и термического воздействия, чем обуславливается неоднородная модификация поверхности кремния. Температурная обработка приводит к изменению объемной и поверхностной структуры кремния за счет образования и диффузии точечных дефектов, движения

и разложения дислокаций, увеличения подвижности поверхностных атомов. Параметры термической обработки могут привести к неоднозначным изменениям, как структуры, так и поверхности кремния. Возникшие термические напряжения приводят не только к возникновению дислокаций, но и их перемещению в своей плоскости, скольжению и выходу из объема кремния на поверхность, определяя ее топологию [3].

Такая же картина возможна и при появлении на поверхности оксидной пленки кремния самого образца на границе SiO_2/Si , под действием касательных напряжений дислокации по механизму скольжения передвигаются к поверхности образца [4, 5].

Цель настоящей работы – выявить возможность стимулирования изменений структуры и морфологии поверхности поликристаллического кремния (с) Si после фиксированной термической обработки ($T=1173^\circ\text{K}$) и варьируемого времени прогрева.

Методы и материалы. В качестве исследуемого материала использовали поликристаллический полупроводниковый (с) Si кремний в виде осколочных пластин размером 1 см^2 и удельным сопротивлением $3\text{ Ом}\cdot\text{см}$. Оптические изменения осуществлялись при комнатной температуре. Образцы подвергали термической обработке при атмосферном воздухе. Температура отжига: $T=1173^\circ\text{K}$, время отжига образцов: $t = 10, 30, 60, 120, 240$ и 360 минут. Морфология поверхности образцов кремния после термической обработки исследовалась методом атомной силовой микроскопии (АСМ) производства NT-MDT, модель Интегра-Прима. Рентгенографические исследования выполнены на рентгеновском дифрактометре X'PertPRO фирмы Philips, где анализировались рентгенограммы структур и фазовый состав (с) Si после термической обработки. Спектрограммы образцов кремния, предварительно термообработанные при различном времени отжига, получены на растровом электронном микроскопе с локальным рентгеноспектральным анализом типа JOEL JSM-6490LA – изображение во вторичных электронах.

Результаты и их обсуждения

Структурные и фазовые изменения кремния при термообработке. Исследования структурного параметра ω и полуширины кривой отражения, которая опосредованно характеризует состояние структуры нарушенного приповерхностного слоя. Таким образом, изменение структуры и внутренних напряжений в приповерхностных слоях термообработанных образцов показало, что их значения не *претерпевают* значительного изменения. Хотя предыдущее исследование [5] указывало на то, что начиная с 873°K до 1273°K , значение ω редко увеличивается при $t=60$ минутном термоотжиге. Однако, при фиксированной термообработке ($T=1173^\circ$) в течение от 10 до 360 минут не вызвало резкого изменения этого параметра структуры. Также нет и заметного изменения межплоскостного расстояния d образца.

Таким образом, структурные изменения при наших условиях температурного воздействия на кремний весьма незначительны. Однако, изменение площади S-пика кремния в рентгенографическом изображении спектра указывает на протекание некоторых процессов на поверхности и приповерхностном слое образца кремния (рисунок 1).

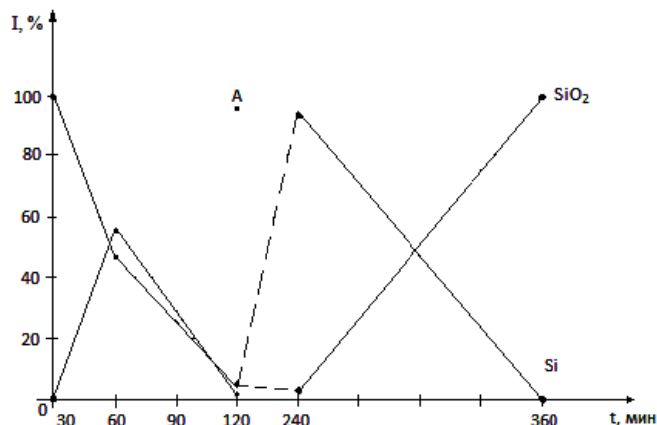


Рисунок 1 – Результаты полуколичественного анализа состава фаз после температурного отжига ($T=1173^\circ\text{K}$) кремния и различного времени прогрева образца. (Точка A – образование $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$)

Результаты полуколичественного анализа состава фаз после фиксированного температурного отжига ($T=1173^\circ$) кремния и различного времени прогрева образца показывают, что при времени отжига от 10 до 120 минут количество атомов кремния постепенно снижается до минимальной отметки (рис.1). А затем, достигнув максимума при 240 минутном прогреве образца, вновь падает практически до нуля, в тоже время на поверхности появляется диоксид кремния (SiO_2), который за этот же период времени достигает дважды своего максимального значения (рисунок 1).

Установлено также, что при 120 минутном отжиге кремния в большом количестве ($\sim 93\%$) появляется гидрированный силицид алюминия ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$). Как показано на рисунке 1, где точка А, говорит о том, что при этой температуре и времени отжига некоторые металлообразующие элементы, присутствующие в образце, могут вступать в химическую связь с атомами образца и прочно удерживаться на поверхностном слое кремния. Появление оксида кремния и изменение ее содержания в приповерхностном слое обуславливает стойкость его кислородных соединений при температуре 900°C .

Если проследить за зависимостью процентного содержания масс атомов кремния и кислорода в спектрограмме от времени температурного прогрева образца (рисунок 2), то видно, что их количества тесно связаны, и вследствие объясняет появление диоксида кремния и его количественный рост в приповерхностном слое кремния.

При 120-минутной температурной обработке процентное содержание атома кремния наименьшее, тогда как процентное содержание атома кислорода - наивысшее (рисунок 3).

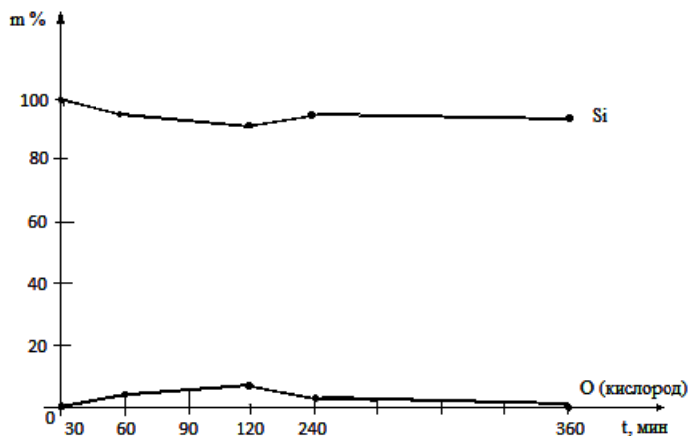


Рисунок 2 – Зависимость процентного содержания кислорода в спектрограмме от времени температурного прогрева образца ($T=1173^\circ\text{K}$)

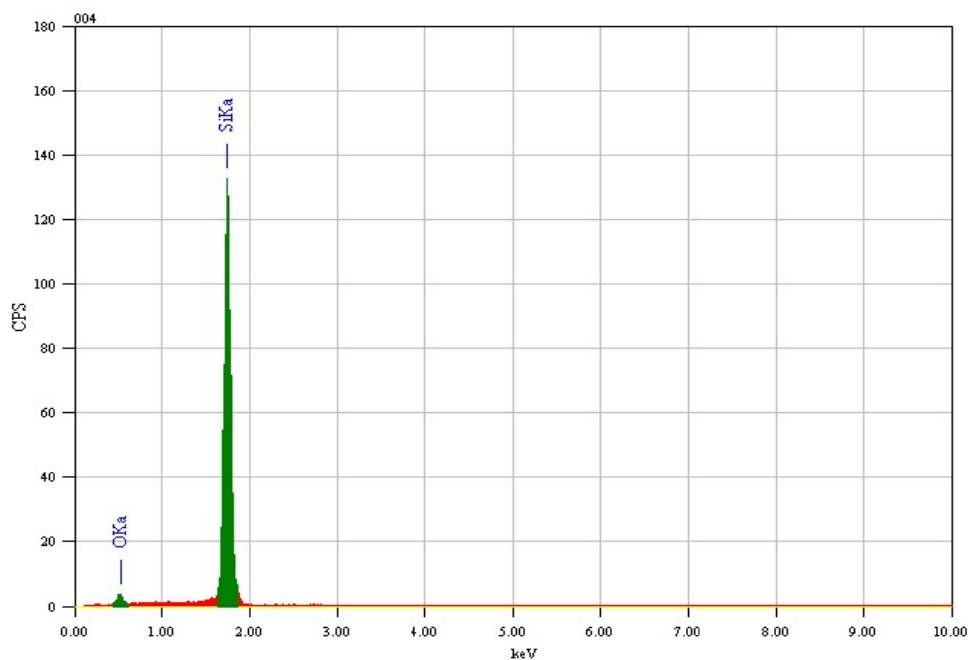


Рисунок 3 – Спектрограмма образца (с) Si после термообработки при 1173°K в течение 120 минут

Морфология поверхности кремния (с) Si после температурного воздействия. Исследования методом атомно-силовой микроскопии показали (рисунок 4), что после термообработки при 900°C и варьировании времени прогрева образца приводят к изменению рельефа поверхности. Как видно из рисунка 4, оксидные образования демонстрируют пирамидальные выступы протяженные по оси Z, перпендикулярные к плоскости в трехмерном изображении. Оксидные островки имеют неоднородный характер при увеличении времени термообработки.

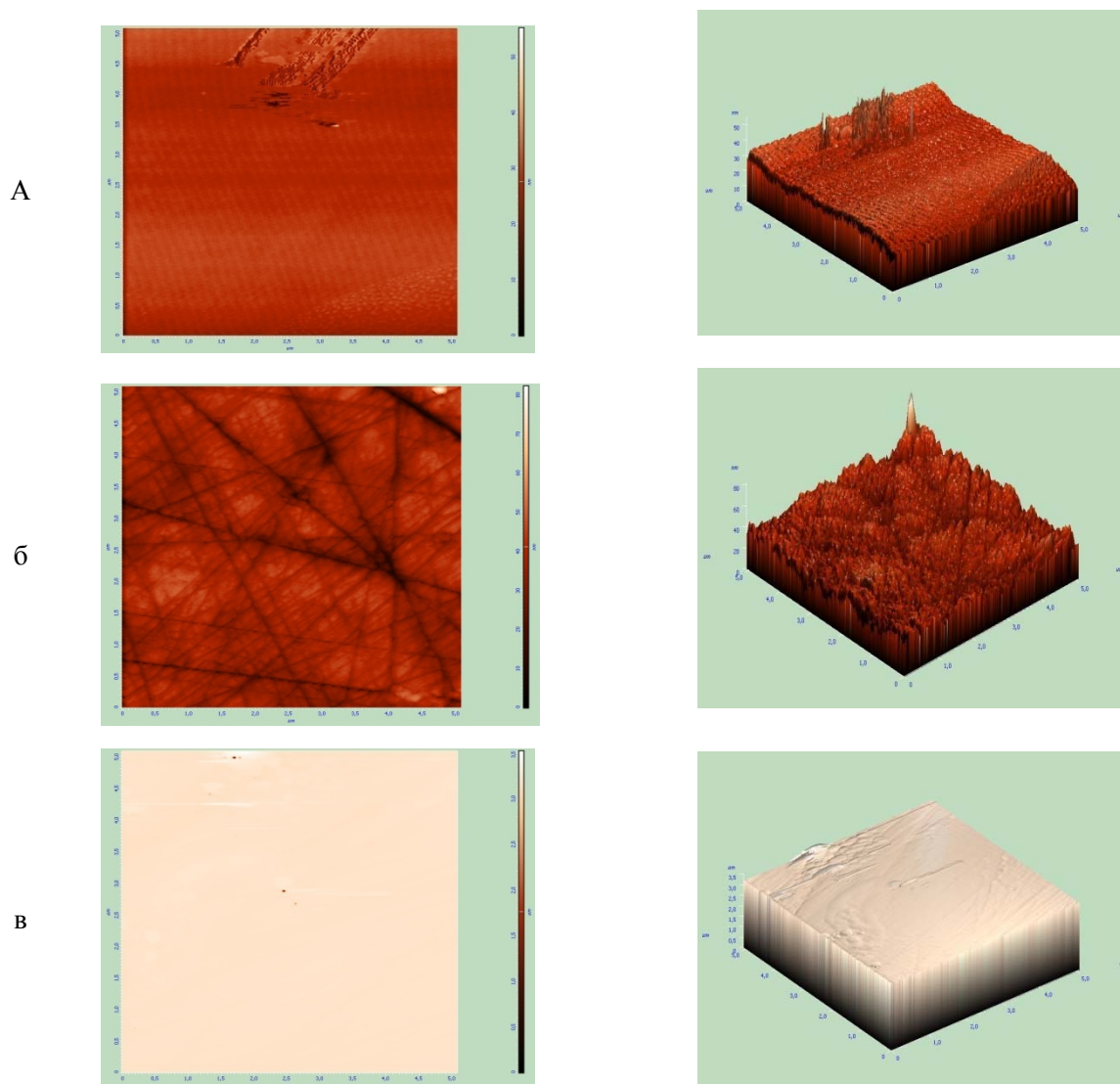


Рисунок 4 – АСМ изображения термоотожженного (с) Si кремния при $T=1173^{\circ}\text{K}$ и длительности: а) $t = 30$ мин; б) $t = 240$ мин; в) $t = 360$ мин

Наряду с оксидными образованиями SiO_2 и другими малочисленными оксидами и силицидами примесей, наблюдается рост пирамидальных образований по всей поверхности исследуемого образца, достигая местами высоты до 35-40 нм. При этом замечен неравномерный рост высоты слоев оксидных образований по всей поверхности, т.е. слой за слоем увеличиваются в глубину поверхности оксидные образования по мере увеличения времени термообработки при фиксированной термической обработке образца (рисунок 4, а,б). Температурная обработка при 900°C и длительности 360 минут приводит к постепенному оплавлению поверхностного слоя, глубина которых достигает порядка 1,2-1,5 нм, то есть идет процесс рекристаллизации поверхностного слоя, исчезают оксидные образования и неровности поверхности (рисунок 4, в).

Заключение. Результаты исследования показали, что при фиксированной термообработке при 900°C и различном времени термической обработки (с) Si наряду с оксидными образованиями SiO₂ и другими малочисленными оксидами и силицидами примесей наблюдается рост пирамидальных образований на поверхности поликристаллического кремния, структура которых по плотности, размеру и форме не одинаковы. Достаточно длительное термическое воздействие приводит к постепенному оплавлению поверхности слоя и кристаллизации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Емельянов В.И., Кашкаров П.К. // Поверхность. – 1990. – № 2. – С. 77-86.
[2] Емельянов В.И., Кашкаров П.К., Шлыков Ю.Г., Диффузионно-деформационная нуклеация кластеров точечных дефектов. Сравнение с экспериментом // Препринт физического факультета МГУ. – 1997. – № 15. – С. 14.
[3] Горелик С.С., Дашевский М.Е. Материаловедение полупроводников и диэлектриков. – М.: Металлургия, 1988. – С. 574.
[4] Medvid A., Dmitruk I., Onufrijevs P., Pundyk I. Properties of nanostructure formed on SiO₂/Si interface by laser radiation // Solid State Phenomena. – 2007. – Vol. 131-133. – P. 559-562.
[5] Кошеров Т.С., Ермолаев В.Н., Тлеумуратова К.Т., Сеитов А.С. Стимулирование изменений физических характеристик кремния лазерным воздействием // Вестник КазНТУ. – 2014. – № 2. – С. 328-334.

REFERENCES

- [1] Emelyanov V.I., Kashkarov P.K. Poverhnost'. 1990. N 2. P. 77-86 (in Russ.).
[2] Emelyanov V.I., Kashkarov P.K., Shlikov U.G., Diffusion-deformational cluster nucleation point defects. Comparison with experiment. Preprint fizicheskogo fakul'teta MGU. 1997. N 15. P. 14 (in Russ.).
[3] Gorelik S.S., Dashevskii M.J., Material science of semiconductors and dielectrics. M.: Metallurgija, 1988. 574 p. (in Russ.).
[4] Medvid A., Dmitruk I., Onufrijevs P., Pundyk I., Properties of nanostructure formed on SiO₂/Si interface by laser radiation. Solid State Phenomena. 2007. Vol. 131-133. P. 559-562.
[5] Kosherov T.S., Yermolaev V.N., Tleumuratova K.T., Seitov A.S., Promoting changes the physical characteristics of Silicon laser exposure. Almaty: KazNTU, 2014. N 2. P. 328-334 (in Russ.).

ТЕРМИЯЛЫҚ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ ПОЛИКРИСТАЛЛДЫ КРЕМНИЙДІҢ ФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӨЗГЕРІСІНЕ ӘРЕКЕТ ЕТУ

Т. С. Кошеров, М. Б. Болатов, Ю. В. Ермолаев

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: оксидті құрылым, кристаллизациялар, термиялық өңдеу, құрылымдық және фазалық өзгерістер.

Аннотация. Берілген жұмыста ауыспалы қыздыру уақытындағы тұрақталған температуралық өңдеудің әсерінен поликристаллды кремний бетінің өзгеріс ерекшеліктері анықталған. Изотермиялық әсер ету барысында кремний бетінде SiO₂ оксидті және аз мөлшерде басқада оксидтер мен силицидтердің қоспалары пайда болатыны анықталды. Сонымен қатар беттік құрылымда пайда болған пирамидальді өзгерістердің біртіндеп өсуі байқалса, қыздыру уақытының ұзаруы барысында олардың балқуы мен кристаллдануы байқалды. Кремнийдің құрылымдың және фазалық өзгерістері қарастырылды.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 49 – 52

WAYS APPROXIMATE SOLUTIONS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS SOME APPLIED PROBLEMS

M. Yeskaliyev¹, K. Abylbekova², Zh. Yessimbekova²

¹Kazakh State women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

²Grammar school №139 named A. Baitursynov, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Yeskaliyev@mail.ru, sholl_139@mail.ru

Key words: contour, vibration, model., the differential, method, the parameter, amplitude.

Abstract. The article discusses the algorithm and methods for the approximate solution of ordinary differential equations closed oscillating circuit and some types of partial differential equations of second order.

УДК 517.946

КЕЙБІР ҚОЛДАНБАЛЫ ЕСЕПТЕРДЕГІ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕРДІ ЖУЫҚТАП ШЕШУ ЖОЛДАРЫ

М. Е. Есқалиев¹, К. Абылбекова², Ж. И. Есимбекова²

¹Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

²А. Байтұрсынов атындағы № 139 мектеп-гимназия, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: пішін, тербеліс, модель, дифференциал, тәсіл, параметр, амплитуда.

Аннотация. Мақалада тұйық контур тербелісінің қарапайым дифференциалдық теңдеулері мен кейбір кездесетін екінші ретті дербес туындылы теңдеулерді жуықтап шешудің алгоритмі және тәсілдері қарастырылған.

Математика физиктерді қызықтырып қана қоймай, сонымен қатар оны физикалық есептеді шешудегі негізгі құрал деп санаған. Есептерді шешудің бірінші тәсілі – эксперимент болса, екінші тәсілі математикалық талдау немесе модельдеу. Мұндай талдау нақты құбылысқа емес, осы құбылыстың кейбір математикалық моделіне пайдаланылады. Физикалық процесстердегі модель, осы процесстерді сипаттайтын коэффициенттері бар теңдеулерден тұрады. Жоғары дәлдіктегі және күрделі модельдер үшін аналитикалық шешуді алу салыстырмалы түрде аз кездеседі.

Математикалық есептерді шешуде дәстүрлі әдістердің көп жағдайда шектеліп қалуы мүмкін. Мұндай жағдайда есептеулер жуықтама сандық әдістерге жүктеледі [1, 2].

Жақсы жағдайда бастапқы модельге қысқарту енгізе отырып, жуықтама шешімін табуға болады. Екі әдістің маңыздылығы: олар бірін-бірі толықтырып, нәтижелер алуда көп жеңілдіктер туғызады.

1. *Тербелмелі тұйық контур есебі.* Қарапайым жағдайда тербелмелі контур екпінді жоғалтуды санай отырып өзіне конденсаторды, қарсыласты (кедергі) және индуктивті катушканы қосады.

Контурдың сыртқы тізбесінде

$$i = i_C + i_R + i_L \quad , \quad (1)$$

мұндағы $i_C = C \frac{du}{dt}$, $i_R = \frac{u}{R}$, $i_L = \frac{1}{L} \int u dt$, $u = L \frac{di}{dt}$.

(1) теңдігінен тұйықталған сыртқы тезбек ($i=0$) кезінде дифференциаланғаннан кейін:

$$LC \frac{d^2 i_L}{dt^2} + \frac{L}{R} \frac{di_L}{dt} + i_L = 0. \quad (2)$$

(2) теңдеуіндегі i_L - тоғын x -қорытынды параметрге ауыстырып, оңаша контурдағы тербелісті сипаттайтын дифференциалдық теңдеу аламыз.

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + a \frac{dx}{dt} + bx = 0, \quad (3)$$

Осындағы $a = \frac{\omega_p}{Q}$, $b = \omega_p^2$, мұндағы $Q = \frac{R}{L\omega_p}$ добротность; $\omega_p = \sqrt{LC}$ - $Q \gg 1$ кезіндегі

әртүрлі контурдың жиілігі. (3) сызықты дифференциалдық теңдеуінің аналитикалық шешімі бар. Дербес түрде $Q \gg 1$ кезінде, шешімінің бір түрі бар:

$$x(t) = A \exp(-0.5at) \cos(\omega_p t), \quad (4)$$

мұндағы A $t=0$ кезіндегі тербеліс амплитудасы.

Бастапқы кездегідей (3) дифференциалды теңдеуінің шешімін сандық әдіспен тапқан кездегі әдіске сүйене отырып Mathcad – тілінде программасын құруға түсініктеме береміз.

Программада келесі белгілеулерді қолданамыз:

$T = Z^{<0>}$ - уақыт, $c; x=y_1 = Z^{<1>}$ - тербелістің бірден мәні;

$DY=y_2 = Z^{<1>}$, $x(t)$ функциясының бірінші туындысы.

Программада бастапқы шарттары y -векторында көрсетілген. Графиктерден $a > 0$ үлкен болған кезінде тербеліс контуры (4) теңдеуіне сәйкес өшеді, $a = 0$ кезінде – тербеліс амплитудасы тұрақты, $a < 0$ кезінде – тербеліс амплитудасы шексіз өседі.

Rkadart функциясының көмегімен сандық есептеулер нәтижесін (4)-формуласындағы жүргізілген есептеулер нәтижелерімен салыстыруға болады. [программада $Y_1(t)$ функциясы түрінде берілген] және олардың дәл сәйкес келетіндіктеріне көз жеткізуге болады.

$a < 0$ кезіндегі өшу жағдайы Герц осцилляторындағы тербеліспен тура келеді. R – кері қарсыласына сәйкес, $a < 0$ жағдайы тербеліс амплитудасының шектеусіз жоғарлауына және соңғы нәтижеде тербелмелі жүйенің бұзылуына әкеліп соғады. $a = 0$ мәніне сәйкес, тербелістің амплитудасын тұрақты алып отыру үшін, тербелмелі контурдағы жоғалтуды міндетті түрде нөлге теңестіру қажет, $R = \infty$ болуы керек. Бұл шешімге қалыпты кері байланыс тізбегінің көмегімен жетуге болады, осының көмегімен контурға қосымша энергия енгізіледі, осыда өзіндік жоғалтуының шығынын өтейді.

Транзистордың сипаттамасы сызықсыз функциясымен анықталады. (3) сызықты теңдеуінің нәтижесінде сызықсыз теңдеуге түрленеді. Осы теңдеудің бірінші жақын аймағында, Ван-дер-Поль[3, 4] деп аталатын теңдеу, мына түрге келеді:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} - \mu(1 - ax^2) \frac{dx}{dt} + bx = 0. \quad (5)$$

(5) теңдеуіндегі сызықсыз мүше $x(t)$ – тербелісінің кіші амплитудасында кері мәнге ие болады, олардың өсуін уақытқа байланысты қадағалайды және қалыпты - жоғары кезіндегі олардың шексіз өсуіне кедергі келтіреді. (3) теңдеуінің ең қиын сұлбасы келесі түрге ие болады:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} - \mu(1 - a_1 x^2 - a_2 x^4) \frac{dx}{dt} + a_3 x + a_4 x^3 = 0. \quad (6)$$

(5) мен (6) теңдеулерінің нақты аналитикалық шешімдері жоқ. (5) теңдеуі аналитикалық әдіспен шешілуі мүмкін, мысалы $\mu \ll 1$ кіші өлшемде жай өзгеретін амплитуда. (5) және (6) теңдеулерінің шешімдерін сандық әдіспен табуда ешқандай шектеу қойылмайды.

1.1. Дербес туындылы дифференциалды теңдеулерді ақырлы-айырымдық әдіспен шешу. Техника мен табиғатта жүретін процесстерге байланысты есептеулердің көбі дербес туындылы теңдеулермен сипатталады.

Дербес туындылы дифференциалдық теңдеулерде екі және оданда көп айнымалылы, сызықты мен сызықсыз және әртүрлі ретті болуы мүмкін. Біз екі ғана айнымалымен шектелеміз, екінші реттен аспайтын, сызықты мен сызықсызға, бір айнымалысы t - уақыт, ал екіншісі x -координатасы болады.

$$\frac{\partial y}{\partial t} = c \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}, \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}, \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = b F(y) \frac{\partial y}{\partial x}, \quad (1.3)$$

мұндағы a, b, c – тұрақты коэффициенттер, $F(y)$ - сызықсыз функция. (1.1)-(1.3) қанағаттандыратын $y(t,x)$ – функциясы осы теңдеулердің шешімі немесе интегралы деп аталады. Теңдеулерді шешу үшін оның бастапқы және шекті шарттарын білуіміз керек.

(1.1) және (1.2) сызықты теңдеулерде аналитикалық әдіспен алынған шешім бар, (1.3) сызықсыз – жалпы жағдайда осындай шешімі жоқ. Дербес туындылы дифференциалды теңдеулерді жалпы әдіспен шешу, сандық әдіске жақын келеді. (1.1)-(1.3) теңдеулерді шешу әдісін қарастырамыз.

Толығымен тоқталайық, сандық әдісте бірінші ретті дифференциалды теңдеулерді шешу мына формулада жатыр:

$$y = \frac{\partial y}{\partial x} = F(x, y),$$

$\Delta x, \Delta y$ - кіші өсімшелерді мына түрде береміз:

$$\Delta y = F(x, y) \Delta x,$$

Соңғы жазбаны пайдаланып, алдыңғы i - қадамдағы функция мәні белгілі, функциялардың мәндерін $(i+1)$ -қадамда есептей алатын келесі рекурентті формуланы аламыз:

$$y_{i+1} = y_i + F(x_i, y_i) \Delta x, \quad (1.4)$$

мұндағы Δx – аргументінің өзгеру қадамы.

Функцияның бастапқы қадамы y_i – деп берілуі керек.

Одан кейін (1.4) сәйкес, біріншіден екіншіге, екіншіден үшінші қадамға өтіп және т.с.с. - үлкен аргументтің мәнімен кез келген n - қадам саны арқылы y_i – функциясын есептеуге болады және $x_i = (\Delta x)n$ - аргументтің мәні үлкен болған кезде.

Осы әдіспен берілген шешімнің қатесі Δx - қадамның өлшеміне байланысты, ол жеткілікті аз болуы тиіс.

x_i – нүктесіндегі $y(x)$ – функциясының бірінші туындысы үшін, берілген нүктеде бір қадам төмен және жоғары қарай шегіне отырып, жазуға болады:

$$y'(x_i) = F(x_i, y_i) = \frac{y(x_{i+1}) - y(x_{i-1}))}{x_{i+1} - x_{i-1}} = \frac{y(x_{i+1}) - y(x_{i-1}))}{2\Delta x}, \quad (1.5)$$

екі функцияның мәнімен оның туындысын есептеуге болады.

(1.5) теңдеуіндегі ұқсас функцияның екінші ретті туындысы бойынша алатынымыз:

$$y''(x_i) = F'(x_i, y_i) = \frac{y'(x_{i+1}) - y'(x_{i-1}))}{2\Delta x}, \quad (1.6)$$

мұндағы

$$y'(x_{i+1}) = \frac{y(x_{i+2}) - y(x_{i-2}))}{2\Delta x}, \quad (1.7)$$

$$y'(x_{i-1}) = \frac{y(x_i) - y(x_{i-2})}{2\Delta x}, \quad (1.8)$$

(1.7) пен (1.8)–ді (1.6)–ға қойып, $y(x)$ - функциясының екінші ретті туындысын аламыз:

$$\frac{d^2 y(x_i)}{dx^2} = y''(x_i) = \frac{y(x_{i+2}) - 2y(x_i) + y(x_{i-2}))}{4\Delta x^2}, \quad (1.9)$$

осы үш функцияның мәндерінен олардың екінші туындысын есептеуге болады.

Әрбір интервалды тең ортасынан бөле отырып, $2\Delta x$ -ті өзгертіп, 1 және 2 туындылары үшін (1.5) пен (1.9) теңдеулерін түрлендіріп, мына түрге келтіреміз:

$$\frac{dy(x_i)}{dx} = y'(x_i) = \frac{y(x_{i+1}) - y(x_{i-1}))}{\Delta x}, \quad (1.10)$$

$$\frac{d^2 y(x_i)}{dx^2} = y''(x_i) = \frac{y(x_{i+1}) - 2y(x_i) + y(x_{i-1}))}{\Delta x^2}, \quad (1.11)$$

(1.10) және (1.11) формулаларындағы төменгі функциялардың туындыларын есептеу қарапайым ақырлы-айырымдық әдіске жатады.

Бұл атау x_i – нүктесінің маңайындағы функцияның туындысын, оның мәндерінің арасындағы айырмашылығын есептейді.

$y(t,x)$ – функциясы екі аргументтен тәуелді. Сол үшін, осыларды табу үшін екі координата бойынша қадам жасау керек, Δt - қадамдағы t -уақытпен және Δx - қадамдағы x - координатамен белгілейміз. Бұл әдісте $y(t,x)$ – функциясын шешуде екі индексі болуы керек. y_{ij} . *Mathcad* тілінде құрастырған программаларға осы сипаттамаларды қолданамыз және екі координата бойынша есептеу жүргіземіз.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Демидович В.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1966.
- [2] Ескалиев М.Е. Сандық әдістерді техникалық есептерге пайдалану. – Алматы: Бастау, 2001.
- [3] Милн В.Э. Численный анализ. – М.: ИЛ, 1951; М.: Наука, 1974.
- [4] Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. – Ч. II. – Физматгиз, 1962.

REFERENCES

- [1] Demidovich V.P., Maron I.A. Osnovy vychislitel'noj matematiki. M.: Nauka, 1966.
- [2] Esqaliev M.E. Sandıq әдістерді техникалық есептерге пайдалану. Almaty: Bastau, 2001.
- [3] Miln V.E. Chislennyj analiz. M.: IL, 1951; M.: Nauka, 1974.
- [4] Berezin I.S., Zhidkov N.P. Metody vychislenij. Ch. II. Fizmatgiz, 1962.

ПУТИ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

М. Е. Ескалиев¹, К. Абылбекова², Ж. И. Есимбекова²

¹Казахский государственный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,

²№ 139 школа-гимназия им. А. Байтурсынова, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: контур, колебания, модель, дифференциал, способ, параметр, амплитуда.

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм и способы приближенного решения обыкновенных дифференциальных уравнений замкнутого колебательного контура и некоторые виды уравнений в частных производных второго порядка.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 53 – 55

**GAS SENSITIVE ELECTRICAL PROPERTIES
OF SILICON NANOWIRES****Z. Zh. Zhanabayev, E. Sagidolda, M. K. Ibraimov**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: Margulan_88@mail.ru

Key words: Silicon nanowires, metal-assisted chemical etching, frequency dispersion, organic gases.

Abstract. Samples of silicon nanowires obtained by metal-induced chemical etching, are examined. Microphotos are studied by scanning electron microscopy. Gas sensitive electrical properties of silicon nanowires are experimentally shown. It is found that in a few seconds sample reacts maximally to the organic gases. Frequency dispersion of the conductivity of silicon nanowires allows to determine the polar and nonpolar organic gases. Also silicon nanowires can be used as a humidity sensor.

УДК 539.23; 539.216.1

**ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
НАНОНИТЕЙ КРЕМНИЯ****З. Ж. Жанабаев, Е. Сагидолда, М. К. Ибраимов**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: нанонити кремния, металл-индуцированное химическое травление, частотная дисперсия, органические газы.

Аннотация. Исследованы образцы нанонитей кремния, полученные методом металл-индуцированного химического травления. Изучены микрофотографии с помощью сканирующей электронной микроскопии. Экспериментально показаны газочувствительные электрические свойства нанонитей кремния. Установлено, что за несколько секунд после подачи органического газа образец реагирует максимально. Частотная дисперсия проводимости нанонитей кремния позволяет определять полярные и неполярные органические газы. Также нанонити кремния могут использоваться в качестве датчика влажности.

Известно, что электрическое сопротивление наноструктурированного полупроводника меняется при адсорбции газов и сильно зависит от при поверхностной области используемого материала [1, 2]. От обычных электронных датчиков наноструктурированные сенсоры отличаются использованием в качестве чувствительных элементов наночастиц или веществ на их основе [3-6]. Целью данной работы является исследование сенсорных электрических свойств кремниевых нанонитей (КНН), полученные методом металл-индуцированного химического травления (МИХТ). В работе исследовалось влияние паров этанола, метанола, хлороформа, ацетонитрила и толуола на поверхность КНН.

Экспериментальные результаты. Обычно получают КНН, как и другие наноматериалы, двумя основными способами, которые включают в себя методы «сверху вниз» и «снизу вверх». Наиболее недорогостоящим и простым вариантом получения КНН является метод МИХТ (рисунок 1).

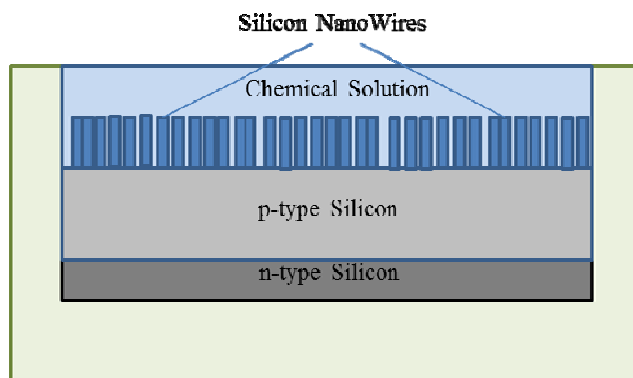


Рисунок 1 – Блок-схема получения кремниевых нанонитей методом металл-индуцированного химического травления

Данный метод состоит из 3 этапов, которые включают в себя нанесение катализатора (как правило, наночастицы серебра, никеля, платины, золота) на поверхность кристаллического кремния, рост КНН в растворе, содержащего плавиковую кислоту и перекись водорода и очистка протравленной поверхности от остатков наночастиц благородного металла.

Изменяя температуру среды, время осаждения катализатора на поверхность и концентрацию жидкости для травления, ориентацию поверхности и уровень легирования подложки можно получить КНН с разными морфологиями и свойствами.

В настоящей работе в качестве подложек были использованы р-тип монокристаллического кремния с кристаллической ориентацией поверхности (100). После процедуры травления образовались КНН, показанные на рисунке 2. Видно, что высота и диаметр КНН достигают порядка 8 мкм и 20-200 нм, соответственно. Расстояние между нитями 50-100 нм.

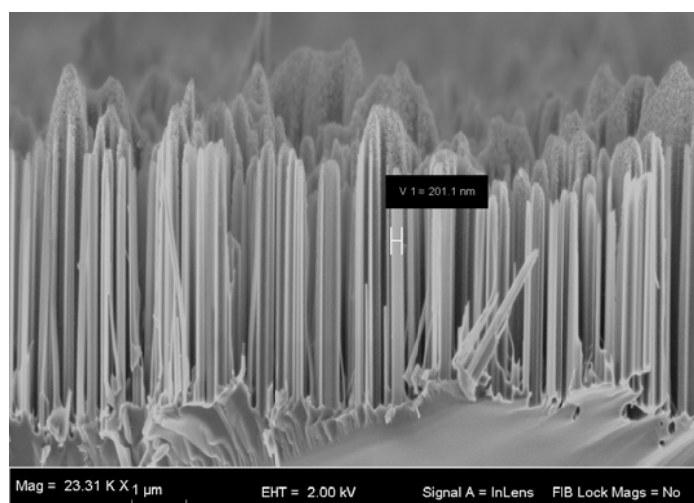


Рисунок 2 – Микрофотография кремниевых нанонитей, полученная электронным микроскопом

Далее методом напыления были нанесены непосредственно на поверхность КНН металлические контакты диаметром 1 и 2 мм и толщиной 300 нм. После чего образец помещался в камеру, куда подавалась струя органического газа. Экспериментальные данные показали, что КНН являются отличными сенсорами влажности и органических газов. На рисунке 3 представлены изменения тока КНН по времени в разных газовых средах при постоянном напряжении 500 мВ.

До 500 секунд был подан определенный газ на нанонити кремния. Также наблюдается мгновенное реагирование КНН после подачи газа, что свидетельствует о повышенных чувствительных свойствах данного наноструктурированного датчика.

После отключения газа значение тока КНН стремится к исходному состоянию, образец легко восстанавливается без дополнительных внешних воздействий.

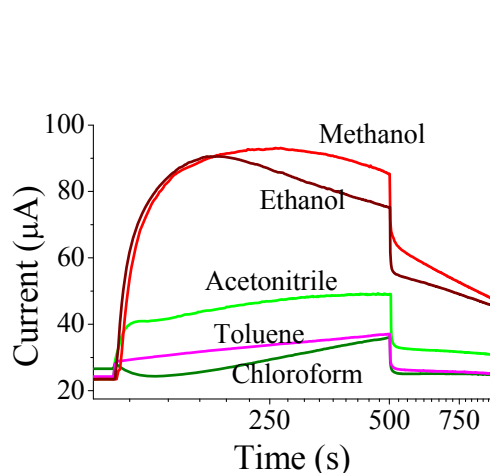


Рисунок 3 – Временное изменение силы тока через нанонитей кремния при воздействии органических газов

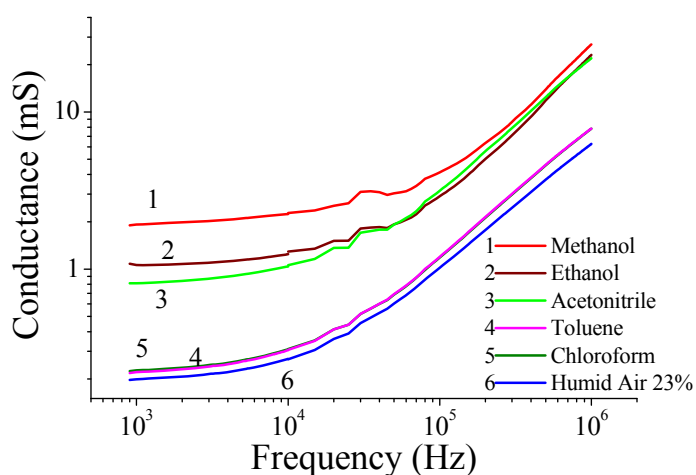


Рисунок 4 – Частотная дисперсия проводимости нанонитей кремния

По частотной дисперсии проводимости (измеренной в миллиСименсах) кривые для различных газов тоже заметно отличаются между собой (рисунок 4). При этом кривые разделились на две группы, что соответствует к разной полярности данных органических газов. Электрическая проводимость нанонитей при наличии неполярных газов толуола, хлороформа при комнатном влажном воздухе меняется более резко с повышением частоты поданного переменного напряжения.

REFERENCES

- [1] F. Demami, L. Ni, R. Rogel, A.C. Salaun, L. Pichon. Silicon nanowires based resistors as gas sensors. *Sensors and Actuators B*, **2012**, Vol. 170, p. 158-162 (in Eng.).
- [2] L. Ni, E. Jacques, R. Rogela, A. C. Salaun, L. Pichon, G. Wenga. VLS silicon nanowires based resistors for chemical sensor applications. *Procedia Engineering*, **2012**, Vol. 47, p. 240-243 (in Eng.).
- [3] Bairui Tao, Jian Zhang, Fengjuan Miao, Huilin Li, Lijuan Wan, Yiting Wang. Capacitive humidity sensors based on Ni/SiNWs nanocomposites. *Sensors and Actuators B*, **2009**, Vol. 136, p. 144-150 (in Eng.).
- [4] Kui-Qing Peng, Xin Wang, and Shuit-Tong Lee. Gas sensing properties of single crystalline porous silicon nanowires. *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 95, **2009**, p. 243112 (in Eng.).
- [5] Yi Cui, Qingqiao Wei, Hongkun Park, Charles M. Lieber. Nanowire Nanosensors for Highly Sensitive and Selective Detection of Biological and Chemical Species. *Science*, **2001**, Vol. 293, p. 1289-129 (in Eng.).
- [6] Huilin Li, Jian Zhang, BaiRui Tao, LiJuan Wan, WenLi Gong. Investigation of capacitive humidity sensing behavior of silicon nanowires. *Physica E*, **2009**, Vol. 41, p. 600-604 (in Eng.).

КРЕМНИЙ НАНОЖИПШЕЛЕРІНІҢ ГАЗ СЕЗГІШТІК ЭЛЕКТРЛІК ҚАСИЕТТЕРІ

З. Ж. Жанабаев, Е. Сагидолда, М. К. Ибраимов

Тірек сөздер: кремний наножипшелері, металл-индуцияланған химиялық еріту әдісі, жиіліктік дисперсия, органикалық газдар.

Аннотация. Металл-индуцияланған химиялық еріту әдісімен алынған кремний наножипшелері зерттелді. Сканирующая электронная микроскопия арқылы үлгілердің морфологиясы алынды. Эксперименттік түрде кремний наножипшелердің газдарға сезімталдығы көрсетілді. Үлгіге органикалық газ берілген уақыттан бірнеше секунд ішінде әсер ететіні анықталды. Кремний наножипшелері өткізгіштігінің жиіліктік дисперсиясы полярлы және полярсыз органикалық газдарды анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар кремний наножипшелері дымқылды сезгіш құрал ретінде жұмыс істей алады.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 56 – 59

SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL CAPABILITIES OF WEB-SITES

G. B. Issayeva, B. M. Akimbekova

E-mail: Guka_Issaeva@mail.ru

Key words: Web-design, Web-site, Web-master, investments, Coogle.

Abstract. In the article the structure of school is regarded. The main component of the university portal is a website of departments (websites of chair). The information structure of chair websites are considered. The value of a content as an important unit in forming university's portal is prooved.

ӘОЖ 377.1:002.6:(53+52)

ВЕБ-САЙТТАРДЫҢ КҮРДЕЛІ БІЛІМДІК ЖӘНЕ ҒЫЛЫМИ МҮМКІНДІКТЕРІ

Г. Б. Исаева, Б. М. Акимбекова

Қазақстан Республикасының білім беру жүйесін ақпараттандыру еліміздің даму стратегиясының негізгі бағыттарының бірі, себебі ХХІ ғасыр – білім беру жүйесін ақпараттандыру ғасыры. Информатика пәнінің орта білім беру жүйесіндегі ролі ақпараттық білімнің, ақпараттық орта мен адамның өзара қарым-қатынасын үйлесімді етудегі және жаңа ақпараттық қоғамда кәсіпкерлік қызметтің басты құрамды бөлігі болып табылатын ақпараттық бейнесін қалыптастырудағы алатын орнымен қамтамасыз етіледі.

Бүгінгі таңда компьютерлік дизайн, Web-дизайн, жүйелік программалушы, администратор және тағы басқа мамандардың қажет екендігін түрлі жарнамалық газеттерден, бұқаралық ақпарат құралдарынан да көруге болады. Аталған мамандықтарды қалай дайындап, оларға қандай программалық құралдарды үйрету арқылы жетілдіруге болатыны әдістемелік жұмыстың өзекті мәселелерінің бірі болып отыр. Мектеп бітірушілер компьютерлік сауатылықты меңгеріп шығады, бірақ келешекте олар программист, инженер, жүйе администраторы болуы міндетті емес.

Дегенмен кез-келген шығармашылық мамандық сізден қазіргі заманға сәйкес компьютерлік технологияларды меңгеруге талап етеді. Шығармашылық жұмыстың қортындысы әр қашан жаңа білім, жаңа ақпарат, ал осы ақпаратты таратудың ең жеңіл әдісі – Интернетте жариялау.

Интернетте материалды жариялау тиімді болу үшін ол Web-дизайн ережелеріне сәйкес болу керек. Демек, Web-дизайн негіздерін білу кез келген мамандықта қажет болады, өткені Web-бет дизайны – бұл ақпараттық дизайн.

Бұл жұмыс өзінің сайты дайындауды үйренем деушілерге арналған.

Жұмыс екі бөлімнен тұрады, біріншісі теориялық: мәтінді форматтау, графиканы қолдану, тізім жасау, кесте құру. Ал екіншісі болса практикалық, бұл бөлімде біз дайын бір сайт жасап шығамыз.

Қазіргі замандағы Интернет-технологиялар Web-сайт бұл дүниенің кішкентай моделі. Бұрынғы кезде Web-сайты бір адам - Web-мастер жасаған болса, қазіргі кезде Web-сайттарды бірнеше адам жасайды. Олар Web-дизайнер, программист, бизнес-кеңесші, маркетинг бойынша басқарушы, менеджер.

Не себептен мектеп курсына Интернет технологияны оқыту керек болды? Web-мастер мамандығы қазіргі кезде өзінің құпиялығын жоғалтып жатыр, ал сайт жасау технологиясы зертхана сыртына шығып көпшілікке белгілі болып жатыр.

Бұның негізгі белгісі Интернет-жобаларға өсіп жатқан инвестициялар, Web-сайттардың күрделі білімдік, ғылыми, комерциялық мүмкіндіктері бар. Интернет технологиялар төмендегі жолдармен дамып келе жатыр:

Мысалы:

`<P align=center>Менің бірінші бетім</p>`

«Менің бірінші бетім» сөйлемі беттің ортасына орналасады. Align дің мәні тағыда left (сол жақ), right (оң жақ) болуы мүмкін.

`` тегінің көмегімен біз мәтіннің шрифтін, көлемін, түсін белгілейміз. Ол үшін атрибуттарды пайдаланамыз.

Мысалы:

`<P align=center>`

`Менің бірінші бетім`

Осындай жол жазғанда Web бетімізде arial шрифтпен, 5-көлемде, көк түсті «Менің бірінші бетім»

деген сөйлем шығады. Жолды бөлу үшін `
` тегін қолданса болады, мысалы:

`<P> Ана тілін – арың бұл,`

Ұятын боп тұр бетте`
`

`</p> Қа`

атырылған әріптерді пайдалану үшін мәтінді ``,`` тегтерінің ортасына аламыз, қиғаш әріптер үшін - `<I>`,`</i>`.

Бұл бөлімде Web беттерге графиканы орналыстыруға тоқталамыз. Web дизайнерлер графика мәселесіне келгенде екі топқа бөлінеді. Бірінші топ графикасыз Web сайт ол сайт емес деп ойласа, екінші топ керісінше Web сайттарға суреттің қажеті жоқ деп санайды, себебі олар кейбір модемдердің және жүйелердің күші жетпейтіндігін ескеріп отыр. Дегенменде сайтқа графиканы қолдану мүмкіндік бар және соны тиімді пайдалану керек. Ол үшін бізге `` тегі src атрибутымен көмектеседі. Суретті сайтқа орналастыру үшін src атрибутына суреттің толық жолын көрсету керек, мысалы, rose.jpg суреті C дискасының My img папкасына орналасқан болса, онда төмендегі тег жазылады:

``

width және height атрибуттармен суреттің көлемін өзгертуға болады, биіктігі және ені.

alt атрибутымен суретке қосымша мәтін түрде қосымша мәлімет шығаруға болады.

``

Web графика туралы айтқанда төмендегі атрибуттарды ұмытпау керек: background – бұл атрибут сайтқа суретті фон ретінде орналыстырады, bgcolor – фонға түс береді.

Сілтеме

HTML дің негізгі қасиеті ретінде оның басқа құжаттарға сілтемеу жасау мүмкіндігі айтуға болады. HTML құжатынан алысқа орналасқан компьютерге, құжаттың ішіндегі белгілі бір орынға, HTML құжатына, басқа бір сайтқа сілтеме орнатуға болады. Сілтемені ұйымдастыру үшін `<A href>` тегі қолданылады.

Программалық жабдықтау

HTML-құжаттарды жасақтау және өңдеу үшін кезкелген қарапайым мәтіндік редактор жеткілікті, мысалы Блокнот. Көп дизайнерлердің ойы бойынша таза сілтемелер тілін қолмен жазған дұрыс. Бірақ көп уақытта қолмен жазған қолданылмайды.

Себебі қолмен жазған автордан көп білімді және практикалық тәжірибені талап етеді.

Практикада әдетте Web-сайт жасау HTML редакторларды пайдаланады. Оларды екі топқа бөледі.

Бірінші үлкен топтың Web-сайт жасау программалары HTML-тілінің негізінде жұмыс істейді. Осындай программалар орта және үлкен сайттарды даярлау уақытын қысқартады және даярлау кезеңінің тиімділігін көтереді. Арнайы HTML-редакторлардың жұмысты жеңілділетін және тездететін қосымша мүмкіндіктері көп. Бұл топқа төменгі программалар кіреді:

TML генератор 1.3 ;Magic HTML Studio 2.0;

Macromedia Dreamweaver;

Екінші үлкен топқа WYSIWYG (ағылшын тілінен “what you see is what you get” - не көрсен соны аласың) редакторлері кіреді. Бұл программаларды тағыда визуалды редакторлар деп айтады.

Осындай программалар графикалық интерфейске ие. Бұл программалардың бастапқы махсаты дизайнерді HTML тегтерінен босату болған. Кәзірге замандағы визуалді HTML-редакторлар дизайнерді көптеген әрекеттерде басатады.

Осындай артықшылықтарына қарамастан кемшілігі бар – олар таза HTML кодын жасамайды, оған артық және «фирменный» тегтерді қосады. Көріп отырсыздар, WYSIWYG редакторларды қолданы HTML тегтерін қолмен жазуды құтқармайды, демек, Web-сайттарын жасау үшін HTML тілінің кем дегенде негізін білу керек.

WYSIWYG программаларының тізімі:

Microsoft Front Page.

Қосымша

10-11 сынып оқушыларына информатика пәнінен кәсіби білім берудің авторлық бағдарламасы «Интернет-технологиясы. WEB-дизайн негіздері»

Информатика кабинеті кеңесінде қаралды

« ___ » _____ 2014 жыл

Орындаған:

Математика және информатика мұғалімі Акимбекова Б.М.магистр

Түсінік хат

Бұл бағдарлама «Интернет технологиясы WEB-дизайн негізі» тақырыбында 10-11 сынып оқушыларына кәсіби білім беруге негізделген.

Бағдарлама жалпы информатика және осы пәнмен байланысты орта білім берудегі басқа пәндердің де элементтерінен құрылған. Бағдарлама (екі жылдық оқу жүйесінде) 136 сағатқа топталған.

Бағдарламаны құру кезінде «Қазақстан Республикасы Білім беру стандарты» және информатика пәні бойынша нұсқау оқулықтары басшылыққа алынған.

Оқушыларға алғашқы кәсіби білім беруді көздеген бұл бағдарлама төмендегідей құрылымнан тұрады:

Информатика пәнінен жалпы мазмұнды білім беру.

Microsoft Windows бағдарламасымен жұмыс жүргізуде негізгі әдіс- тәсілдерді меңгеру.

«Microsoft Office» пакетімен жұмыс істеуді меңгеру.

Бағдарламаның мақсаты: Оқушыларға дүниежүзілік ақпараттану әлемі туралы тұтастай түсінік беру және ақпарат алу жүйесін өзіндік ақпараттар жасау қабілеттерін ұштау.

Бағдарламаның негізгі міндеті:

Информатика пәнін жүйелеп оқыту әдістерін қарастыру.

Оқушылардың ақпарат алу, өңдеу жаңа ақпараттар жасау және сақтау туралы бірізді жүйелі танымын қалыптастыру.

Интернеттің бай мәліметтерін қолдану кезіндегі нақты тәсілдерді көрсету.

Жалпы орта білім беру жүйесіндегі басқа пәндермен логикалық тығыз байланыс орнату.

Бүгінгі заман талабында ақпараттар жүйесімен жұмыс істеу өз алдына жеке бір кәсіп ретінде талап етіліп отыр. «Интернет технологиясы. Web-дизайн негізі» бағдарламасының құрылымы жалпы информатика элементтерінен, Web-дизайн элементтерінен және электрондық оқулық негізінен тұрады.

Бұл бағдарламамен танысу кезінде оқушылар жаңа кәсіптік бағдармен, нақты айтқанда, оптикалық диск, сканерлер, модем, «Блокнот» мәтіндік редакторы, HTML, FrontPage құжаттарымен және Photoshop, Paint, Macromedia Flash сияқты графикалық редакторларымен жұмыс істеуді меңгереді.

Болашақ мамандардың кәсіби білім алуының әр басқышында дүниежүзілік ақпараттану жүйесінде мақсатты жұмыс жүргізуі үшін осы бағдарламаны құру қажеттілігі туып отыр. Бұл бағдарламаны оқыту барысында мультимедиялық технология элементтерін қолдану көзделіп отыр.

Бағдарламаның бір бөлігі теориялық білім беруге негізделген Интернет мәліметтерін қолдану сабақтары online кестесіне сәйкес жүргізілуі тиіс.

Интернетке қосылу сақталмаған жағдайда online кестесінің алдын-ала дайындаған ақпараттық мәліметтерін қолдануға болады.

Оқушылардың жаңа материалды меңгеру дағдыларын бақылау ауызша немесе жазбаша сұрау және өздік практикалық тапсырмалар негізінде алынуы тиіс.

Өтілген тақырыптар бойынша оқушылардың білім мен білік дағдыларын жазбаша бақылау алу әдісімен тексеруге болады.

Бұл бағдарламаны толық оқып, меңгерген оқушылар Интернетке қосылу жүйесін толық білуі және өздері сабақта жоспарлап құрған WEB-сайтты қолданулары тиіс.

Нақты білім алу және алған білімдерін практикада қолдану барысында оқушылардың назары еңбек қауіпсіздігіне, техника қауіпсіздігіне аударылуы тиіс және жеке бас гигиенасына көңіл бөлгені шарт.

Мұнда электрондық World Wide Web- тің өсуімен қоса, көптеген қызықты және арнайы сайттар пайда болуда. Соңғы уақытта әртүрлі анықтамалар, каталогтар және мәліметтер қоры (солардың ішінде неше түрлі керекті тақырыптар ақпараты бар) кіре бастады. Мысалы, сайтта өзіңізге керекті Голливудта түсірілген фильмді таңдап алып, сол фильм туралы толық анықтама алуға болады. Оның жанрын, актерлік, режиссерлік бөлімін және фильмнен бірнеше кадрларын көрсетіп шығарады. Сол жерден сізді қызықтыратын кино актерлері, режиссерлері және дауыс операторлары жайында толық мәлімет ала аласыз.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Якоб Нильсен, Хоа Лоранжер. Web-дизайн: удобство использования Web-сайтов / Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2011. – 368 с.
- [2] Фень Юань. Web программирование. – М., 2012. 1070 с.
- [3] Стив Круг. Веб-дизайн / Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2012. – 200 с.
- [4] Лаура Т. Разработка Web-приложений на PHP и MySQL / Пер. с англ. – 2-е изд., испр. – СПб.: ООО "ДиасофтЮП", 2012. – 672 с.
- [5] Стив Тейксера, Ксавье Пачеко. «PHP+MySQL Руководство разработчика». – М., 2013. – 269 с.
- [6] Олифер В.Г. Компьютерные сети. – М., 2013. – 576 с.
- [7] Дмитрий К. Веб-дизайн. – СПб.: Символ Плюс, 2013. – 376 с.
- [8] www.penjim.narod.ru

REFERENCES

- [1] Jacob Nilson, Loa Loranzer. Web-design: Convenience of using web-sites. 2011. 368 p.
- [2] Feng Yuan. Web programming. M., 2012. 1070 p.
- [3] Steve Krug. Web-design. 2012. 200 p.
- [4] Laura T. Development of Web applications on PHP and MySQL. 2th edition. 2012. 672 p.
- [5] Steve Teixeira, Xavier Pacheco. PHP+MySQL developer's guide. M., 2013. 269 p.
- [6] Oliver V.G. Networking. M., 2013. 576 p.
- [7] Dmitry K. Web-design. 2013. 376 p.
- [8] www.penjim.narod.ru

НАУЧНЫЕ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ WEB-САЙТОВ

Г. Б. Исаева, Б. М. Акимбекова

Ключевые слова: Web-дизайн, Web-сайт, Web-мастер, инвестиция, Google.

Аннотация: В статье рассматривается структура школы. Основной составляющей портала вуза являются веб-сайты структурных подразделений (веб-сайты). Анализируется информационная структура веб-сайта. Обосновывается ключевая роль контента при построении веб-сайтов.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 60 – 63

**CALCULATION OF THE OPTICAL CONSTANTS
OF THE TETRAGONAL LITHARGE CRYSTALS
FROM THE ANALYSIS OF TRANSMISSION SPECTRA**

K. K. Nurakhmetova¹, T. M. Akbekov²

¹Kazakh national technical university after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,

²KSU named after I. Arabayev, Bishkek, Kyrgyzstan

E-mail: nurakhmetova52@mail.ru

Key words: spectrum, plane-parallel, interference, Fabry-Perot, crystal, polarization.

Abstract. The subject of this paper is to determine the optical constant spectra of bandwidth PbO₁ in the energy region from 1.5 to 3.0 eV. The measurement was carried out on natural samples polarized light, having the form of right rectangular prisms with mirrored surfaces. For retrieving data from the spectral dependences surveyed the transmission spectra of thin plane-parallel plates with different thicknesses. The study found that the position of the extrema of the interference spectra and their frequency depends on the polarization of light.

УДК.546.815/819:535.37:66-97

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ КРИСТАЛЛОВ
ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ МОНООКИСИ СВИНЦА
ИЗ АНАЛИЗА СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ**

К. К. Нурахметова¹, Т. М. Акбеков²

¹Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

²Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, Бишкек, Кыргызстан,

НИИФ при СБГУ г.Санкт-Петербург

Ключевые слова: спектр, плоскопараллельность, интерференция, Фабри-Перо, кристалл, поляризация.

Аннотация. Работа посвящена определению оптических постоянных из спектров пропускания PbO₁ в энергетической области от 1,5 эВ до 3,0 эВ. Измерения проводились на естественных образцах поляризованного света, имеющих форму правильных прямоугольных призм с зеркальными поверхностями. Для получения данных со спектральных зависимостей проводилось исследование спектров пропускания тонких плоскопараллельных пластин с различными толщинами. В результате исследования было обнаружено, что положение экстремумов интерференционных спектров и их частота зависит от поляризации света.

Спектральные характеристики оптических констант $n(h\nu)$ и $\alpha(h\nu)$ в области малых коэффициентов поглощения $\alpha < 3,0\text{эВ}$ определялись из спектров пропускания плоскопараллельных пластин по методике, описанной в [1]. Для слоистого соединения PbO условия, необходимые для наблюдения таких спектров – плоскопараллельность пластин выполняются идеально. Спектры пропускания состоят из последовательности максимумов и минимумов, спектральное положение которых и соотношение интенсивностей несет информацию не только о величине показателя преломления $n(h\nu)$, но и $\alpha(h\nu)$ величине поглощения. Обычно $n(h\nu)$ определяется по спектральному положению максимумом λ_{\max} и минимумов λ_{\min} пропускания по формулам:

$$\text{условия максимумов } n(\lambda_{\max}) = \frac{N\lambda_{\max}}{d}; N = 2, 4, 6;$$

$$\text{условия минимумов } n(\lambda_{\min}) = \frac{N\lambda_{\min}}{d}; N = 1, 3, 5;$$

где d – толщина образца, N – порядок интерференции.

Для получения данных со спектральных зависимостей проводилось исследование спектров пропускания тонких плоскопараллельных пластин с различными толщинами от 0,2 до 100 мкм. Необходимость использования такого широкого набора толщин образцов была вызвана двумя обстоятельствами. Первое – сильным уменьшением пропускания с ростом энергии, особенно в спектральном интервале 2,8-3,0 эВ. Второе – тем, что интерференционная методика позволяет вычислять только при фиксированных энергиях в экстремумах интерференционной картины. Для получения $n(\alpha)$ в других точках нужно изменять толщину образца, смещая тем самым интерференцию картины.

В методике расчета с учетом интерференции Фабри-Перо необходимо определить порядок интерференции N . Проводя измерения в области малых коэффициентов поглощения области прозрачности, можно одновременно определить толщину кристалла d и порядок интерференции N только в случае отсутствия на поверхности исследуемого образца чужеродной пленки. Контролировать правильность вычислений можно непосредственно измеряя толщину кристалла или сравнивая вычисленные значения $n(h\nu)$ с независимо измеренными. Из литературы [2] известно, что PbO обладает повышенной химической активностью, в результате которой на поверхности могут образовываться различные пленки.

Для того чтобы определить, насколько действительно активна поверхность исследуемых нами кристаллов PbO и для учета эффектов, связанных с возможным появлением пленок, было проведено исследование интерференционных спектров пропускания в области прозрачности на различных кристаллах, имеющих как естественные поверхности роста, так и на образцах полученные скалыванием. В результате исследований было установлено, что отношение

интенсивностей в максимуме и минимуме $M = \frac{I_{\max}}{I_{\min}}$ пропускания изменяется от образца к об-

разцу. Максимальное значение M было получено на кристаллах со свежесколотыми поверхностями. Как показали вычисления, максимальное значение M соответствует «чистой» поверхности. Наблюдения показали, что это отношение M не меняется в процессе отдельного эксперимента. При длительном хранении кристаллов в обычной атмосфере резкость интерференционной структуры уменьшалась. Однако спектральное положение экстремумов спектра пропускания не менялось. Таким образом, даже в случае кристаллов с «испорченной» поверхностью, изменяя длины волн максимумов и минимумов интерференционного спектра, можно вычислить $n(h\nu)$.

Порядок интерференции и толщину кристалла можно определить, зная зависимость $n(h\nu)$ только в некотором участии исследуемого интерференционного спектра.

Таким образом, процедура определения $n(h\nu)$ состояла в последовательной записи частично перекрывающихся интерференционных спектров. Вычислялся по формулам (1) ход изменения $n(h\nu)$ на кристаллах с «чистой» поверхностью и далее эти значения использовались при дальнейших вычислениях $n(h\nu)$. Полученные таким образом зависимости $n(h\nu)$ в изотропной геометрии $E \perp C, K \parallel C$ представлены на рисунке 1.

Спектральная зависимость показателя преломления в поляризации света $E \perp C$ $n(h\nu)$ определялась из спектров пропускания объемных образцов.

Измерения проводилась на естественных образцах, имеющих форму правильных прямоугольных призм с зеркальными поверхностями. В таких кристаллах две боковые грани были перпендикулярны оптической оси, а четыре – содержали оптическую ось. При распространении света

вдоль слоев ($K \perp C_4$) хорошо наблюдалась интерференция Фабри-Перо, хотя и менее резкая по сравнению с геометрией $K \parallel C_4$. Было обнаружено, что положение экстремумов интерференционных спектров и их частота зависит от поляризации света. Это указывало на различный ход показателя преломления света в поляризациях $E \parallel C_4$ и $E \perp C_4$. Измеренная в геометрии $K \perp C_4$ спектральная зависимость $n(h\nu)$ совпадает с результатами [3] полученными на пластичных кристаллах в геометрии $K \parallel C_4$. Это указывает на возможность получения достоверных результатов и для $n_{\parallel}(h\nu)$. Спектральные зависимости $n_{\parallel}(h\nu)$ представлены на рисунке 1.

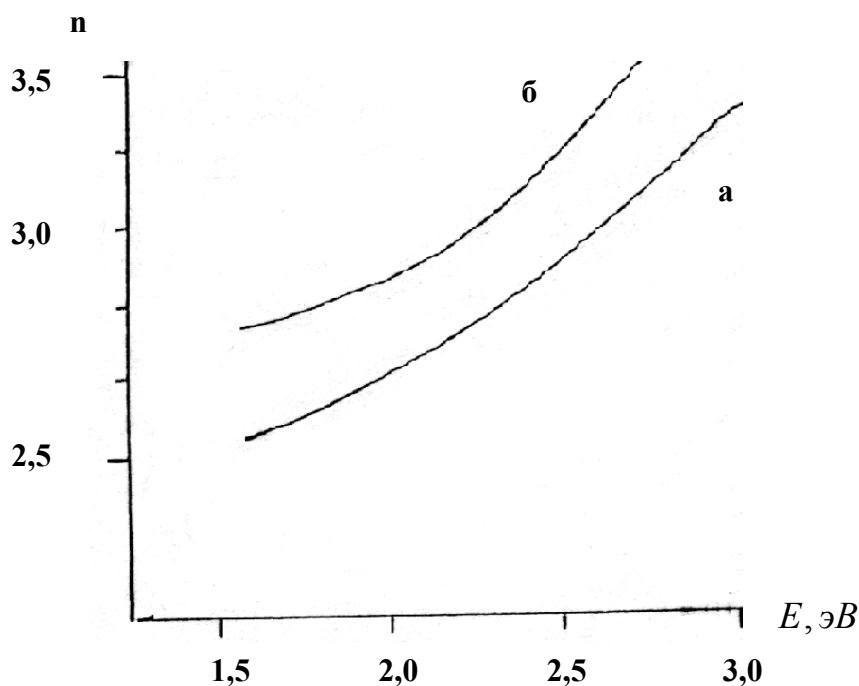


Рисунок 1 – Спектральные зависимости показателя преломления, измеренные при 77К в поляризациях $E \perp C - n_{\perp}$ (а) и $E \parallel C - n_{\parallel}$ (б)

Во всем измеренном нами интервале энергий рисунка 1 однако скорость нарастания n_{\parallel} с увеличением энергии больше чем n_{\perp} .

Анализируя полученные данные можно заключить, что оптический резонанс, ответственный за появление дисперсии показателя преломления $n_{\perp}(h\nu)$ имеет большую силу осциллятора и расположен при больших энергиях, чем резонанс, приводящий к появлению дисперсии $n_{\parallel}(h\nu)$.

При уменьшении температуры спектральные n_{\parallel}, n_{\perp} кривые, не изменяя своей структуры, смещаются в область больших энергий. Спектральная зависимость коэффициента поглощения α определялась только при $E \perp C, K \parallel C$, так как для проведения надежных измерений требовались кристаллы с высоким качеством отражающих поверхностей. Результаты вычислений представлены на рисунке 2.

В области энергий 2,24-2,34 эВ наблюдаются две слабые размытые ступеньки, за которыми следует участок линейного роста. В основных чертах это поглощение повторяет структуры в области 1,9-2,3 эВ и также, вероятно, связано с непрямыми переходами, не с более глубокими зонами. С ростом температуры спектр расширяется и смещается в область больших энергий, аналогично температурному смещению длинноволнового края.

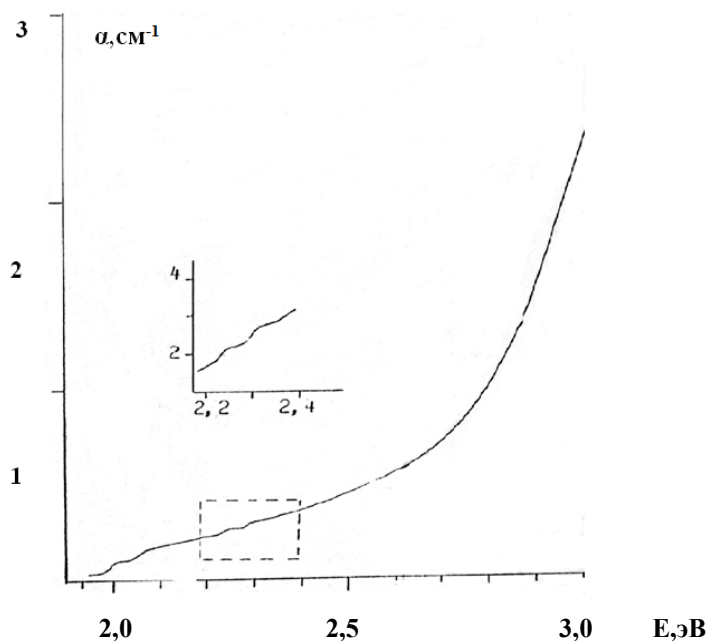


Рисунок 2 – Спектральные зависимости коэффициента поглощения α , см^{-1} , при 77К в поляризации $E \perp C$

Анализируя ход изменения оптических констант $n(h\nu)$ и $\alpha(h\nu)$, вычисленных из спектров пропускания и отражения [3], можно сделать вывод, что прямые разрешенные зона-зонные переходы начинаются при энергиях $h\nu > 3,06\text{эВ}$ в поляризации $E \perp C$ и $h\nu > 3\text{эВ}$ в поляризации $E \parallel C$. Об этом свидетельствует резкое нарастание поглощения и его большая величина, достигающая в максимуме.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. – 1977. – С. 56-70.
 [2] Извозчиков В.А., Тимофеева О.А. Фотопроводящие окислы свинца в электронике. – Л., 1979. – С. 140-142.
 [3] Акбеков Т.М., Гайсин В.А., Недзвецкий Д.С. Оптические константы тетрагональной окиси свинца в области 800-250 нм // Вестник ЛГУ. – 1991. – Сер. 4, вып. 3.

REFERENCES

- [1] Uhanov Ju.I. Optical properties of semiconductors, 1977, p. 56-70 (in Russ.).
 [2] Izvozchikov V.A., Timofeeva O.A. Photoconductive lead oxides in electronics. L.: 1979, p. 140-142 (in Russ.).
 [3] Akbekov T.M., Gajsin V.A., Nedzveckij D.S. Optical constants of Tetragonal lead oxide in 800-250 nm. Vestnik LGU. Ser. 4, № 3, 1991 (in Russ.).

ҚОРҒАСЫН ТЕТРАГОНАЛЬДЫ МОНОТОТҚЫСЫНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛАРЫН ӨТКІЗУ СПЕКТРЛЕРІН ТАЛДАУ АРҚЫЛЫ ЕСЕПТЕУ

К. К. Нұрахметова¹, Т. М. Ақбеков²

¹Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,

²И. Арабаев атындағы Қырғыз мемлекеттік университеті, Бішкек, Қырғызстан

Тірек сөздер: спектр, жалпақпараллельділік, интерференция, Фабри-Перо, кристалл, поляризация.

Аннотация. Атылмыш жұмыс 1,5 эВ пен 3,0 эВ энергетикалық аудан аралығындағы РвОТ өткізу спектрлерінен оптикалық тұрақтыларды анықтауға арналған. Өлшеулер айналы беттері бар дұрыс тік төртбұрышты призмалардың формасындай болатын поляризацияланған жарықтың табиғи үлгілерінде өткізілген. Спектрлік тәуелділіктерден деректер алу үшін жуандықтары әр түрлі жіңішке жазық параллел пластиналардың өткізу спектрлерінің зерттелуі жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде интерференционды спектрлер экстремумдарының орындары мен олардың жиілігі жарықтың поляризациясына байланысты екені анықталды.

Поступила 27.01.2015 г.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 64 – 69

ORGANIZATION OF LIMITATIONS AT DECISION OF TASKS OF ROUTING

G. I. Salgarayeva, A. S. Akhmetova

Kazakh State Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: gulnaz_sal@mail.ru

Key words: route, great number, oriented count, spring, cycle, top, wavefront.

Abstract. In article formalization of restrictions of routing is considered. These restrictions are divided into three groups and formulated in terms of the theory of counts. In the first group of restrictions it is told about structure and length of a route. The second group of restrictions on calculation of routes of the count is connected with weighing of the count of routes and calculation of scales of edges of the count, and the third group of restrictions – routing calculation, the column of routes formulated in terms of a costal coloring.

ГРАФ МАРШРУТЫН ЕСЕПТЕУДЕ ШЕК ҚОЮДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ

Г. И. Салғараева, А. С. Ахметова

Қазақ мемлекеттік қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: маршрут, жиын, бағытталған граф, тізбек, цикл, ілгек, толқын мөлшері, төбе.

Аннотация. Мақалада маршруттауға шек қоюды ұйымдастыру туралы қарастырылады. Қойылатын шектер үш топқа бөлінген және олар графтар теориясының терминінде сипатталған. Шек қоюдың бірінші тобында маршруттың құрылымы мен ұзындығы қарастырылады. Граф маршрутын есептеуде шек қоюдың екінші тобы граф маршрутын өлшеу және граф қабырғаларының салмағын есептеумен байланысты. Маршруттауды есептеудің үшінші тобы – граф маршрутының қабырғаларын бояу терминдерінде сипатталған маршруттауды есептеу.

Р жиынындағы жұпталған төбелердің маршрутының жиындарынан тұратын G_{v_i} бағытталған графы құрылатын шек қоюдың бірінші тобын қарастырайық. Маршруттардың негізінде салынған, мен жұп төбелер арасының маршруты, жиынның құраушысы болып табылады және шектеулердің бірінші тобын осыған сәйкес сипаттайық.

$(u, v) \in R$ әрбір төбе жұбы үшін төмендегідей маршруттар құрылуы керек:

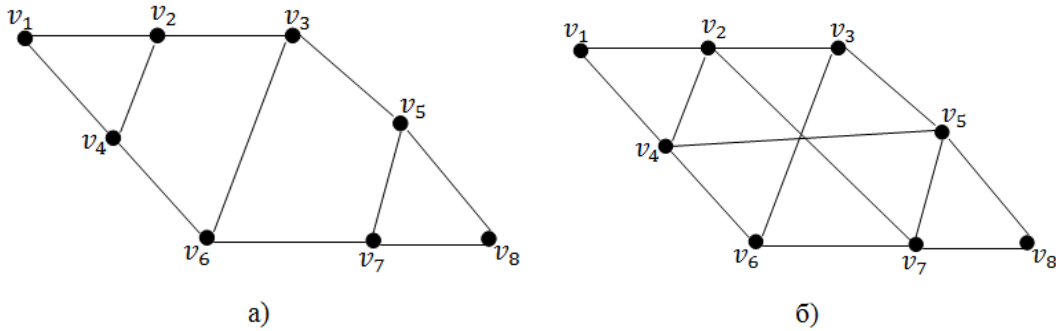
1. Кез келген аралық төбелер саны шектелген, яғни: $0 \leq L(u, v) \leq T$;

2. Кез келген маршрут G графының қарапайым тізбегі болып табылады, оның ішінде егер олардың аралық төбелері бар болса, онда олар V_2 жиынына жатады.

Кейбір есептердегі осындай маршруттарды салғанда, $T = 2$ мәні есептерге қойылып, олар шешілген болатын, яғни, V_2 жиынында, G графының компоненті анықталған жағдайда, $|V_2|$ -байланыстырушы болып табылады. Мұндай жағдайда шектеуді алып тастап есепке болжам жасалады, олай болса әрбір қарастырылып отырған графтың төбесі қалған барлық төбелермен байланысқан, яғни олар G графына байланысты болып табылады. G графының құрамындағы маршруттың саны мен ұзындығы, $k(G)$ санына тәуелді болады және оның төбелеріне байланысты анықталады. Сонымен қатар, желінің сенімділігін күшейту үшін, G графына сәйкес, маршруттың ұзындығын азайту

үшін, G графының байланыстырушы деңгейін күшейту керек немесе V_2 жиынында салынған ішкі графты қолдану қажет. Кез келген байланыстырушы ішкі графтың байланысын арттырғанда, олардың байланысын дәлелдеу қиынға соқпайды және де байланысқан графтың маршрут саны, алдындағы графта артатын болады да, оның ең кіші маршрут ұзындығы керісінше кемитін болады.

Мысалы, G_1 және G_2 графтарын қарастырайық, ол 1а) және 1б) суретінде сәйкес көрсетілген.



1-сурет – G_1 және G_2 графтары

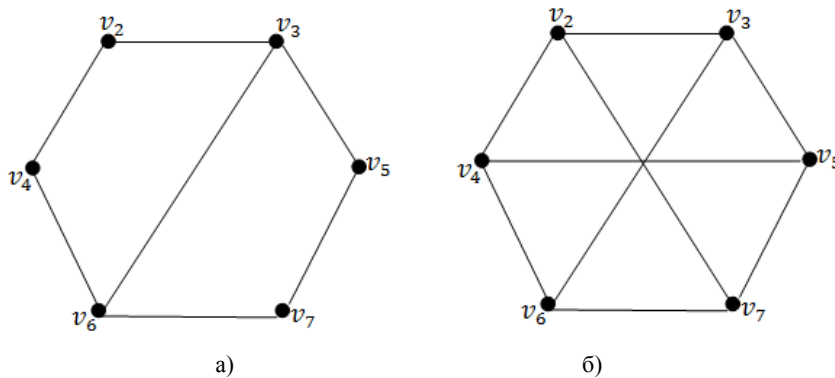
G_1 және G_2 графтары үшін $V_1 = \{v_1, v_8\}$ және $V_2 = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}$ жиын төбелері болып табылады. Сонымен бірге, $T = 3$ мәні маршрут аралық төбелерінің ықтимал саны, ал R жиыны екі жұп төбеден, яғни $R = \{(v_1, v_8), (v_8, v_1)\}$ тұрады.

2-суретте ішкі графтар, яғни G'_1 және G'_2 графтары көрсетілген, V_2 жиын төбесінен G_1 және G_2 графтары табылған (1-суретте). $k(G'_1) = 2$, ал $k(G'_2) = 3$, 2-суретте бейнеленген. G_1 графына барлық маршруттарды салатын болсақ, онда олар v_1 төбесінен v_8 , яғни, $L(v_8, v_1)$ жиыны, (i) және (ii) шектеулеріне сәйкес болады. Мұндай маршруттардың өрнегі төмендегідей:

$$L(v_8, v_1) = \left\{ \begin{array}{l} (v_1, v_2, v_3, v_5, v_8) \\ (v_1, v_4, v_6, v_7, v_8) \end{array} \right\}$$

G_2 графы үшін, $L(v_8, v_1)$ жиыны мына түрде жазылады:

$$L(v_8, v_1) = \left\{ \begin{array}{l} (v_1, v_2, v_3, v_5, v_8), \\ (v_1, v_4, v_6, v_7, v_8), \\ (v_1, v_2, v_7, v_8), \\ (v_1, v_4, v_5, v_8), \\ (v_1, v_2, v_4, v_5, v_8), \\ (v_1, v_2, v_7, v_5, v_8), \\ (v_1, v_4, v_2, v_7, v_8), \\ (v_1, v_4, v_5, v_7, v_8) \end{array} \right\}.$$



2-сурет – G'_1 және G'_2 ішкі графтары

Соңғы жағдайда есептеу барысында барлық маршруттар алынды, яғни $L(v_8, v_1)$ жиыны G_1 графынан тұрады, сонымен қатар, қосымшалары бірнешеу, екеуі – (v_1, v_2, v_7, v_8) және (v_1, v_4, v_5, v_8) – кез келген G_1 графы, $L(v_8, v_1)$ жиынының маршруты болып табылады.

Лемма 1. Егер, $L(v_i)$ жиынының барлық маршруттары, (1) және (2) шектеулерін қанағаттандыратын болса, онда $v_i \in V_i$ үшін барлық маршруттар L жиының (1) және (2) шектеулерін қанағаттандырады.

1 леммасына қатысты L жиынынан (1) және (2) шектеулеріне сәйкес маршруттар салу керек, осыған сәйкес, әрбір олардың әрбір төбелеріне $v_i \in V_i$, $L(v_i)$ жиынының маршрутын салайық, бірақ олар қанағаттандыратын шектеулерге байланысты болады. Сол себепті болашақтағы алынатын барлық нәтижелерде кейбір $v_i \in V_i$ төбелер сипатталатын болады.

$FW_m^i = FW_m(v_i)$ етіп белгілейік, толқын мөлшерінің тәртібі m төбесі v_i болсын, сонымен қатар $FW_0^i = \{v_i\}$ жиынының қабырғаларын енгіземіз және саламыз.

$$A_{v_i}^i = \{(u, v) \in E : u \in FW_{i+1}^i, v \in FW_i^i\} \quad (1)$$

Кез келген төбелер үшін, $u \in V_1' \cup V_2'$, $u \in FW_i^i$, төбелердің тізбектелуі болып табылады. Ол $x_1, \dots, x_n \in V_2'$ маршрутын, $l(u, x_1, \dots, x_n, v_i)$ қарапайым тізбекті білдіреді және $L(u, v_i) \leq t$ болып жазылады. [1]

Лемма 2. G графының барлық маршруты v_i төбесінің аяқталуымен оларды қанағаттандыратын (1) және (2) шектеулері G_{v_i} графында орналасқан болса, онда, ол төмендегідей сипатталады:

$$V^i = \bigcup_{t=0}^T FW_t^i \quad (2)$$

және

$$A_{v_i} = \bigcup_{t=0}^T A_{v_i}^t \quad (3)$$

Дәлелдеу. $G_{v_i}^{(t)} = (W_i^{(t)}, A_{v_i}^{(t)})$, $t \geq 0$ бағытталған ішкі графты G етіп белгілейік, v_i төбесінің аяқталуы барлық маршруттарды құрайды, мұндай маршруттардың төбелерінің аралық сандары t мәнінен аспайды. $W_{v_i}^{(t)}$ жиынының төбелерін $G_{v_i}^{(t)}$ графы түрінде көрсетейік:

$$\begin{aligned} W_{v_i}^{(t)} &= \{u : u \in FW_m^i \setminus FW_{m-1}^i, m = \overline{1, t}\} = \\ &= \{u : u \in FW_m^i \setminus FW_{m-1}^i, m = 1, \overline{t-1}\} \cup FW_t^i = W_{v_i}^{(t-1)} \cup FW_t^i, t \geq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

$W_{v_i}^{(0)} = \{v_i\}$ етіп саламыз. $G_{v_i}^{(t)}$ граф жиының қабырғасы төмендегідей түрде жазылады [2]:

$$A_{v_i}^{(t)} = \{(u, v) \in E : u \in FW_{m+1}^i, v \in FW_m^i, m = \overline{0, t}\}, A_{v_i}^{(0)} = \emptyset.$$

$A_{v_i}^{(t)}$ жиынын тұрғызу үшін оны мына қатынаста пайдалануға болады:

$$\begin{aligned} A_{v_i}^{(t)} &= \{(u, v) \in E : u \in FW_{m+1}^i, v \in FW_m^i, m = 0, t-1\} \cup \{(u, v) \in E : u \in FW_{t+1}^i, v \in FW_t^i\} = \\ &= A_{v_i}^{(t-1)} \cup A_{v_i}^{(t)}, t \geq 1 \end{aligned} \quad (5)$$

(4) және (5) формуласына сәйкес, барлық маршруттарды тұрғызу $G_{v_i}^{(t)}$ графы үшін, v_i төбесінің аяқталуында циклдар мен ілгектер болмайды және де бұл маршруттардың аралық сандарының төбесі t мәнінен аспайды. $V^i = W_{v_i}^{(T)}$, $A_{v_i} = A_{v_i}^{(T)}$ соңында келтіріген қатынастар қалады және лемма дәлелденді.[3]

Енді, шектеудің екінші тобын қарастырайық. G_{v_i} графының әрбір қабырғасы үшін, мәндердің өлшемді функциясын анықтайтын $p(\cdot, \cdot)$ мен оның маршруттауда басым болатынына қатыстысын қарастырайық. Бірінші шектеуден алатынымыз, маршруттаудың тәртібі бойынша желі қызметінің қалыпты шартқа байланыстысы алдындағы бірінші негізгі бағытта қолданылған.

Қорыта келгенде, $G_{v_i}[P]$ өлшенген графты тұрғызу міндетіміз, $p(\cdot, \cdot)$ өлшенген бүтін санды функцияны есептеумен байланысты және де олар (iii) және (iv) шектеулерімен есептеледі.

D'_p жиынын белгілейік, ал G_{v_i} графы барлық төбелерді құрайтын, u көршілес төбеге және қысқа маршруттар u төбесі арқылы v_1 төбесіне, сонымен қатар ол p -ға сәйкес бағытта болу керек. Келтірілген жиын мына түрде жазылады:

$$D'_p(u) = \{y: p(u, y) = p; y \in D'(u)\}, p \in P, u \in V'_1 \cup V'_2 \text{ мен}$$

$$D'_{p_1}(u) \cap D'_{p_2}(u) = \emptyset \text{ егер } p_1 \neq p_2.$$

Төмендегі жиынды енгізейік,

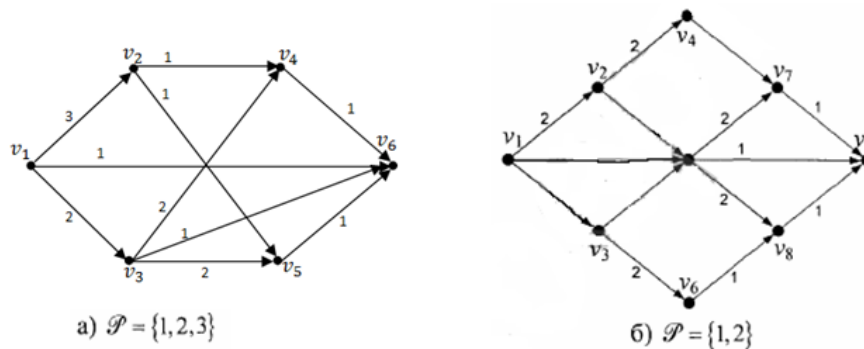
$$F_p^i(u) = \{y: p(u, y) > p; y \in D'(u)\}, \tag{6}$$

және байқағанымыздай, келесі арақатынас орнын алады:

$$F_p^i(u) = D'(u) \setminus \bigcup_{q=1}^p D'_q(u) = F_{p-1}^i(u) \setminus D_p^i(u) \tag{7}$$

Мұндағы, $F_0^i(u) = D'(u)$.

$G_{v_i}[P] = (V^i, A_{v_i}, P)$ белгісін бағытталған өлшенген графты (iii) және (iv) қанағаттандыратын шектеулермен бірге белгілеу үшін пайдаланамыз, яғни, $P = \{1, \dots, P\}$ бұл G_{v_i} графының жиынында өлшенген қабырға болуы мүмкін және желі дабылдамасының көптеген белгілері мен таңдау бағытын беру осы жиынға сәйкестендіріледі. (iii) және (iv) шектеулерінің орындалуы, 3а) және 4б) суретінде көрсетілген.



3-сурет – (iii) және (iv) шектеулерінің орындалуының мысалы

Шектеудің үшінші тобы маршрутты салу кезіндегі, яғни жалпы басы мен жалпы ақыры арасындағы маршруттың бірдей бөлікке бөлінуіне байланысты болуы керек. Қарастырылып отырған шектеулер, $\widetilde{G}_{v_i} = (V^i, \overline{A}_{v_i})$ мультиграфын салуға арналған, ал өлшенген бағытталған графта $G_{v_i}[P] = (V', A_{v_i}, P)$. \widetilde{G} мультиграфының желі дабылдамасында, оның әрбір мультиқабырғасының қабырға санын есептеу әдісі ұсынылған. Қазір, талапқа сай желі дабылдамасының бірдей етіп бөлу жүктемесі оның графтық моделіне әрбір граф үшін $\widetilde{G}_{v_i} 2^H$ түстерін бірдей етіп, әрбір төбеге, төбе және мультиқабырғалар бойынша бөлу керек және маршруттың құраушысы оның көзі мен оның ағуын құрау үшін керек. [4]

Қарастырылып отырған топтың шектеуін тұжырымдау үшін, төмендегілерді ескере отырып есептеу керек:

- (а) әрбір u төбесінің бағытталған графы $2^{\alpha(u)}$ үшін мультиқабырғадан шығу болады, ол $0 \leq \alpha(u) \leq H$ болып табылады;
- (б) мультиқабырғаның (u, x) әрбір қабырға саны $2^{\beta(u,x)}$, $0 \leq \beta(u, x) \leq H$;
- (в) тек мультиқабырға үшін бір уақытта өрнектің ρ салмағы жасалады.

\widetilde{G}_{v_i} мультиграф қабырғасының өрнегінің әдісін тұжырымдау үшін белгі енгізейік. $D(u)$ – u төбесінің бейнесі, ал $B(u, x)$ – мультиқабырғаның басы. u төбесі мен x төбесінің ақыры (келесілерде (u, x) мультиқабырға) жиын қабырға болып табылады.

(u, x) мультикабырғаның барлық кабырғасын қайта нөмірлейік, 0-ден бастап, $N(u, x) - 1$ нөмірі, $N(u, x) = |B(u, x)|$ және $B(u, x)$ жиынын мына түрде көрсетейік:

$$B(u, x) = \{b_0(u, x), b_1(u, x), \dots, b_{N(u, x)-1}(u, x)\}, \quad (8)$$

\widetilde{G}_{v_i} граф кабырғасының өрнегі үшін, \mathcal{G} жиынның қайта нөмірленген түстерін енгізейік, 0 санынан бастап қойылған есептің сәйкестенуі мен алынған жиынның түрі төмендегідей:

$$\mathcal{G} = \{0, 1, \dots, 2^H - 1\} \quad (9)$$

$\mathcal{G}(u, x) \subseteq \mathcal{G}$ түс жиынын (u, x) мультикабырға өрнегі үшін белгілейік, және кез келген u төбесі үшін, келесі қатынас орындалуы керек:

$$\mathcal{G}(u, x) \cap \mathcal{G}(u, y) = \emptyset, x \neq y, x, y \in D(u), \quad (10)$$

$$\mathcal{G} = \bigcup_{x \in D(u)} \mathcal{G}(u, x) \quad (11)$$

$b_1(u, x)$ кабырғасының өрнегі үшін $\mathcal{G}_1(u, x) \subseteq \mathcal{G}(u, x)$ жиын түстерін енгізейік. Осы салдардан, түстер, кабырға өрнектері үшін қолданылған әр түрлі нөмірлер бір-бірімен ұқсас болмауы керек, және ол келесі қатынас түрінде болады:

$$\mathcal{G}_1(u, x) \cap \mathcal{G}_m(u, x) = \emptyset, l \neq m, l, m \in \mathcal{N}(u, x) \quad (12)$$

$$\mathcal{G}(u, x) = \bigcup_{l \in \mathcal{N}(u, x)} \mathcal{G}_1(u, x) \quad (13)$$

(12) және (13) формуласы мен жоғарыда енгізілген белгіні пайдаланып, шектеуді тұжырымдайық, ол үшін \widetilde{G}_{v_i} мультиграф кабырғасының өрнегі 1 дабылдама жүктемесінің бөлінуіне сәйкес болуы керек.

а) $(\bigcup_{x \in D(u)} \bigcup_{l \in \mathcal{N}(u, x)} \mathcal{G}_1(u, x)) = \mathcal{G}$, т.с. барлық түстер \mathcal{G} жиынының барлық кабырғалардың өрнегі u төбесінен басталып қолдануы керек.

б) $|\mathcal{G}(u, x)| = |\mathcal{G}(u, y)|, x \neq y, x, y \in D(u)$ т.с.с, мультикабырға өрнегін пайдалану үшін u төбесінің шығысы түстер санымен бірдей болуы керек.

с) $|\mathcal{G}_1(u, x)| = |\mathcal{G}_m(u, x)|, l \neq m, l, m \in \mathcal{N}(u, x), x \in D(u)$ т.с. (u, x) мультикабырғаның кабырға өрнегі үшін, түстер саны бірдей болуы керек.

Кабырға өрнегінің бірнеше әдістері бар, олардың ең танымалы, кездейсоқ әдіс болып табылады. Бұл әдісте, кабырға өрнегі кездейсоқ түрде орындалады (қайтарусыз таңдау) және циклдық, яғни сол уақытқа дейін жиын түстері таусылмайынша орындала береді. Ағылшын тіліндегі деректемелерде бұл әдістің аты Randomized Round-Robin.

а) және с) шектеулерінің бұзылу мысалын қарастырайық, олар әр түрлі нұсқада көрсетілген. Мысалы, а) шектеуі – (v_2, v_4) мультикабырға өрнегі бұзылған кезде $\{0, 1, 2, 3, 4, 5$ түстерін пайдаланады. б) шектеуі (v_1, v_2) және (v_1, v_3) мультикабырғалардың арасындағы бұзылу түстердің бөлінуін, ал (v_1, v_2) мультикабырғасының өрнектері 6 түс, (v_1, v_3) мультикабырғасы 2 түс ғана пайдаланады. (v_1, v_3) мультикабырғалары түстерді бөлген кездегі кабырғалар арасындағы с) шартын орындамады. Сонда нәтижесінде бір кабырға 3 түске, ал екіншісі – бес түске боялған.

Қорыта келгенде, маршруттауға шек қоюды ұйымдастырудың үш тобыда жоғарыда сипатталып көрсетілді.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Самуйлов К.Е. Методы анализа и расчета сетей ОКС 7. – М.: РУДН, 2002. – 57 с.
- [2] Нефедов В.Н., Осипова В.А. Курс дискретной математики. – М.: МАИ, 1992. – 123 с.
- [3] Салғараева Г.И. Графтар теориясы. – Алматы.: Дәуір, 2013. – 97 б.
- [4] Самарский А.А. Введение в численные методы. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1987. – 42 с.

REFERENCES

- [1] Samuylov K.E. Methods of the analysis and account of networks OKS 7. M.: RUDN, 2002. 57 p. (in Russ.).
- [2] Nefedov V.N., Osipova V.A. Rate of discrete mathematics. M.: MAI, 1992. 123 p. (in Russ.).
- [3] Salgaraeva G.I. The theory the column. A.: Dau'r, 2013. 97 p. (in Kaz.).
- [4] Samarckiy A.A. Introduction in numerical methods. M.: Nauka, GRFML, 1987. 42 p. (in Russ.).

ОРГАНИЗАЦИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ НА РАСЧЕТ МАРШРУТОВ ГРАФА

Г. И. Салгараева, А. С. Ахметова

Казахский государственный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: маршрут, множество, ориентированный граф, пружина, цикл, вершина, фронт волны.

Аннотация. В статье рассматривается формализация ограничений маршрутизации. Эти ограничения разделены на три группы и сформулированы в терминах теории графов. В первой группе ограничений говорится о структуре и длине маршрута. Вторая группа ограничений на расчет маршрутов графа связана с взвешиванием графа маршрутов и вычислением весов ребер графа, а третья группа ограничений – расчет маршрутизации, сформулированная в терминах реберной раскраски графа маршрутов.

Поступила 27.01.2015 г.

МАЗМҰНЫ

Теориялық және тәжірибелік зерттеулер

<i>Кулпешов Б.Ш.</i> Әлсіз о-минималдық құрылымдарда бинарлық дөңестік рангі.....	5
<i>Қабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Саидахметов П.А., Байғұлова Н.З., Байдуллаева Л.Е.</i> Ньютон сақиналарын зерттеуді ұйымдастыруға арналған компьютерлік зертханалық жұмыстың бланкі үлгісі.....	14
<i>Нуримбетов А.У., Орынбаев С.А., Бекбаев А.Б., Байбутанов Б.К.</i> Орталық жүгірме күштер өрісіндегі қабаттары әртүрлі физико-механикалық қасиеттері ие көп қабатты композиттік қалақшалардың кернеулі күйін оңтандыру.....	20
<i>Асқарова А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Габитова З.Х., Ергалиева А.Б., Бекетаева М.Т.,</i> <i>Оспанова Ш.С.</i> Жану процесі үдерісінде зиянды шаңгазды қалдықтар компоненттерінің қалыптасуы.....	32
<i>Умбетов А.У.</i> Электромагнитті толқындардың екі құрамды кристалды оптикалық линзалардан өту теориясы.....	39
<i>Көшерев Т.С., Болатов М.Б., Ермолаев Ю.В.</i> Термиялық өңдеу арқылы поликристаллды кремнийдің физикалық қасиеттерінің өзгерісіне әрекет ету.....	44
<i>Есқалиев М.Е., Абылбекова К., Есимбекова Ж.И.</i> Кейбір қолданбалы есептердегі дифференциалдық теңдеулерді жуықтап шешу жолдары.....	49
<i>Жанабаев З.Ж., Сағидолда Е., Ибраимов М.К.</i> Кремний наножіпшелерінің газ сезгіштік электрлік қасиеттері.....	53
<i>Исаева Г.Б., Акимбекова Б.М.</i> Web-сайттардың күрделі білімдік және ғылыми мүмкіндіктері.....	56
<i>Нұрахметова К.К., Ақбеков Т.М.</i> Қорғасын тетрагональды монокотқысының оптикалық тұрақтыларын өткізу спектрлерін талдау арқылы есептеу.....	60
<i>Салғараева Г.И., Ахметова А.С.</i> Граф маршрутын есептеуде шек қоюды ұйымдастыру.....	64

СОДЕРЖАНИЕ

Теоретические и экспериментальные исследования

<i>Кулпешов Б.Ш.</i> Бинарный ранг выпуклости в слабо о-минимальных структурах.....	5
<i>Кабылбеков К.А., Аширбаев Х.А., Саидахметов П.А., Байгулова Н.З., Байдуллаева Л.Е.</i> Модель бланка организации компьютерной лабораторной работы по исследованию колец Ньютона.....	14
<i>Нурымбетов А.У., Орынбаев С.А., Бекбаев А.Б., Байбутанов Б.К.</i> Оптимизация напряженного состояния слоистых композиционных лопаток с различными физико-механическими свойствами слоев в поле центробежных сил.....	20
<i>АскарOVA А.С., Болегенова С.А., Болегенова С.А., Габитова З.Х., Ергалиева А.Б., Бекетаева М.Т., Осанова Ш.С.</i> Формирование вредных пылегазовых компонентов в процессе горения.....	32
<i>Умбетов А.У.</i> Теория распространения электромагнитных волн через двухкомпонентные кристаллооптические линзы.....	39
<i>Кошеров Т.С., Болатов М.Б., Ермолаев Ю.В.</i> Стимулирование изменений физических характеристик поликристаллического кремния термической обработкой.....	44
<i>Ескалиев М.Е., Абылбекова К., Есимбекова Ж.И.</i> Пути приближенного решения дифференциальных уравнений некоторых прикладных задач.....	49
<i>Жанабаев З.Ж., Сагидолда Е., Ибраимов М.К.</i> Газочувствительные электрические свойства нанонитей кремния.....	53
<i>Исаева Г.Б., Акимбекова Б.М.</i> Научные и образовательные возможности Web-сайтов.....	56
<i>Нурахметова К.К., Акбеков Т.М.</i> Вычисление оптических постоянных кристаллов тетрагональной монооксида свинца из анализа спектров пропускания.....	60
<i>Салгареева Г.И., Ахметова А.С.</i> Организация ограничений на расчет маршрутов графа.....	64

CONTENTS

Theoretical and experimental researches

<i>Kulpeshov B.Sh.</i> Binary convexity rank in weakly o-minimal structures.....	5
<i>Kabilbekov K.A., Ashirbayev H.A., Saidakhmetov P.A., Baigulova N.Z., Baidullayeva L.E.</i> Model of the form of organization of computer laboratory work on research of Newton's rings.....	14
<i>Nurimbetov A.U., Orynbayev S.A., Bekbayev A.B., Baibutanov B.K.</i> Optimization of layered and composite blades' stress condition with different physical-and-mechanical properties in the field of centrifugal forces.....	20
<i>Askarova A., Bolegenova S., Bolegenova S., Gabitova Z., Ergalieva A., Beketayeva M., Ospanova Sh.</i> Formation of harmful dust and gas emissions components in the combustion processes.....	32
<i>Umbetov A.U.</i> The theory of distribution of electromagnetic waves through two-component crystal optical lenses.....	39
<i>Kosherov T., Bolatov M., Ermolayev Yu.</i> Stimulation of changes in the physical characteristics of polycrystalline silicon by thermal treatment.....	44
<i>Yeskaliyev M., Abylbekova K., Yessimbekova Zh.</i> Ways approximate solutions of differential equations some applied problems.....	49
<i>Zhanabayev Z.Zh., Sagidolda E., Ibraimov M.K.</i> Gas sensitive electrical properties of silicon nanowires.....	53
<i>Issayeva G.B., Akimbekova B.M.</i> Scientific and educational capabilities of Web-sites.....	55
<i>Nurakhmetova K.K., Akbekov T.M.</i> Calculation of the optical constants of the tetragonal lithium crystals from the analysis of transmission spectra.....	60
<i>Salgarayeva G.I., Akhmetova A.S.</i> Organization of limitations at decision of tasks of routing.....	64

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz
physics-mathematics.kz

Редактор *М. С. Ахметова*
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 10.02.2015.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
4,7 п.л. Тираж 300. Заказ 1.