

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал

№ 4 (61) / 2019

1 часть

Редакционная коллегия:

д.п.н., профессор Аркулин Т.В. (Москва, РФ)

Члены редакционной коллегии:

- Артафонов Вячеслав Борисович, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологического и природоресурсного права (Москва, РФ);
- Игнатъева Ирина Евгеньевна, кандидат экономических, преподаватель кафедры менеджмента (Москва, РФ);
- Кажемаев Александр Викторович, кандидат психологических, доцент кафедры финансового права (Саратов, РФ);
- Кортун Аркадий Владимирович, доктор педагогических, профессор кафедры теории государства и права (Нижний Новгород, РФ);
- Ровенская Елена Рафаиловна, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой судебных экспертиз, директор Института судебных экспертиз (Москва, Россия);
- Селиктарова Ксения Николаевна (Москва, Россия);
- Сорновская Наталья Александровна, доктор социологических наук, профессор кафедры социологии и политологии;
- Свистун Алексей Александрович, кандидат филологических наук, доцент, советник при ректорате (Москва, Россия);
- Тюменев Дмитрий Александрович, кандидат юридических наук (Киев, Украина)
- Варкумова Елена Евгеньевна, кандидат филологических, доцент кафедры филологии (Астана, Казахстан);
- Каверин Владимир Владимирович, научный сотрудник архитектурного факультета, доцент (Минск, Белоруссия)
- Чукмаев Александр Иванович, доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права (Астана, Казахстан) (Астана, Казахстан)

Ответственный редактор

д.п.н., профессор Каркушин Дмитрий Петрович (Москва, Россия)

Международные индексы:



Ответственный редактор:

Главный редактор:

Завальский Яков Андреевич (Россия), доктор психологических наук, профессор

Международный редакционный совет:

Научный редактор: Игнатьев Сергей Петрович (Россия), доктор педагогических наук, профессор
Ответственный секретарь редакции: Давыдова Наталия Николаевна, кандидат психологических наук, доцент.

Арсеньев Дмитрий Петрович (Россия),

доктор психологических наук, профессор, заведующий лабораторией

Бычковский Роман Анатолиевич (Россия),

доктор психологических наук, профессор, МГППУ

Ильченко Федор Валериевич (Россия),

доктор психологических наук, профессор, заведующая лабораторией психологии

Кобзон Александр Владимирович (Россия),

доктор педагогических наук, профессор

Панов Игорь Евгеньевич (Россия),

доктор технических наук, профессор

Петренко Вадим Николаевич (Казахстан),

доктор психологических наук, профессор

Прохоров Александр Октябрьнович (Казахстан),

доктор педагогических наук, профессор

Савченко Татьяна Николаевна (Беларуссия),

кандидат психологических наук, доцент

Стеценко Марина Ивановна (США),

Ph.D., профессор

Строганова Татьяна Александровна (Украина),

доктор педагогических наук, профессор

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:

г. Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия

E-mail: info@euroasia-science.ru ; www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии г. Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия

СОДЕРЖАНИЕ

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Серякова А.Н., Ткаченко М.Л., Жнякина Л.Е.

ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА БИНАРНОЙ
ЛЕКАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ «КЕТОПРОФЕН
ТРОМЕТАМОЛА - КЕТОРОЛАК ТРОМЕТАМОЛА».
АНАЛЬГЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭВТЕКТИКИ4

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Досмұхамедов Х., Сүлейменова А.С.

МАТЕМАТИКА САБАҒЫН АРАЛАС ОҚЫТУ
ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП
ҰЙЫМДАСТЫРУ7

Buteyev O.Z.

"PHYSICAL EXPERIMENT IN TEACHING PHYSICS"11

Григорьев Е.А.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА
ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ТОРОИДАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ
СТРУКТУР13

**Далингер В.А., Симонженков С.Д.,
Громов В.А.**

О ПЛОЩАДЯХ РОМБОВ, ВПИСАННЫХ В ЭЛЛИПС
ИЛИ ОПИСАННЫХ ВОКРУГ НЕГО.....17

Mamatov M. Sh.

DISCRETE PLAYING OF PERSECUTION WITH LEVEL OF
BRIGHTNESS OF DIGITAL IMAGE DESCRIBED BY
SECOND ORDER EQUATIONS20

Мамедов К.Ш., Мамедли Н.О.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРИБЛИЖЁННОГО РЕШЕНИЯ
ИНТЕРВАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ЧАСТИЧНО-
ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ29

Мехтиев Р.К.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВОЯКОПЕРИОДИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ ОРТОТРОПНЫХ УПРУГИХ ВКЛЮЧЕНИЙ И
ДВУХ СИСТЕМ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ КОГЕЗИОННЫХ
ТРЕЩИН В ИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ.....37

**Палымский И.Б., Фомин П.А.,
Li Y.R., Wu C.M.**

О КОНВЕКТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГАЗО-ПАРОВОЙ
СМЕСИ ПРИ ОКОЛОКРИТИЧЕСКОЙ
ТЕМПЕРАТУРЕ.....44

**Урсеитов О.У., Абдылдаев К.К.,
Торубаева У.С.**

НЕТРАДИЦИОННЫЕ, ЭВРИСТИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ
ИДЕИ В ТЕХНИКЕ, В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХИ
ЗЕЛЕНОМ РАСТИТЕЛЬНОМ МИРЕ.49

Шевчук В.В., Кашкина Н.В.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И ПУТИ ПРОФИЛАКТИКИ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ГОРОДА БЕРЕЗНИКИ52

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Marwa N., Hussien A.M.

DENDRITIC POROUS SILICON AS A HEAVY METAL
REMOVAL (COPPER ELEMENT).....55

**Холов Х.И., Квятковская Л.В.,
Самихов Ш.Р.**

КИНЕТИКА ПРОЦЕССА АЦЕТИЛТИОМОЧЕВИННОГО
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ХВОСТОВ
ФЛОТАЦИИ НИЖНЕГО ГОРИЗОНТА
ДЖИЖИКРУТСКОГО МЕТОРОЖДЕНИЯ59

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА БИНАРНОЙ ЛЕКАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ «КЕТОПРОФЕН ТРОМЕТАМОЛА - КЕТОРОЛАК ТРОМЕТАМОЛА». АНАЛЬГЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭВТЕКТИКИ

Серякова Анна Николаевна

*ассистент кафедры химии фармацевтического факультета,
Самарский государственный медицинский университет, г. Самара*

Ткаченко Михаил Лукич,

*канд. хим. наук, доцент кафедры химии фармацевтического факультета,
Самарский государственный медицинский университет, г. Самара*

Жнякина Лидия Евгеньевна,

*канд. фарм. наук, провизор-аналитик, ГБУЗ «Центр контроля качества
лекарственных средств Самарской области, г. Самара*

АННОТАЦИЯ

Приведены данные фазовых равновесий системы «Кетопрофен трометамола: Кеторолак трометамола». Установлено, что эвтектика реализуется при соотношении 72:28% мол соответственно с температурой плавления 107,8°C.

Антигипералгетическая активность эвтектики оказалась на 178% выше активности модельной смеси 1:1 мол в сопоставимых дозах.

ABSTRACT

Shows the phase of equilibria of the system «ketoprofene trometamine-ketorolac trometamine». Found that the eutectic is implemented with a ratio of 72:28% mole with melting point of 107,8° C. Anti-hyperalgesia activity of eutectic was on 178% higher activity of the model composition 50:50 % moll.

Ключевые слова: дифференциальная сканирующая калориметрия, кетопрофен трометамола, кеторолак, эвтектика, диаграмма фазовых равновесий, каррагенин, анальгетическая активность.

Для целей обеспечения необходимой скорости абсорбции лекарственных веществ (ЛВ) в последнее время все больше привлекают внимание твердые дисперсные системы (ТДС) в качестве возможной формообразующей основы при создании новых рациональных лекарственных форм. Как известно [5], ТДС могут быть различными по типу физико-химического взаимодействия: твердые молекулярные растворы, стеклообразные растворы, аморфные суспензии ЛВ в кристаллическом носителе, связанные или комплексные молекулярные растворы, простые эвтектические смеси и любые комбинации перечисленных групп

Как сообщалось [1], если компоненты лекарственной системы находятся в эвтектическом соотношении, то существенно изменяется их растворимость. Твердые фармацевтические препараты, как правило, представляют собой гетерогенные системы, состоящие из одного или более активных фармацевтических ингредиентов и определённого количества так называемых наполнителей. Некоторые компоненты этой смеси могут взаимодействовать, образуя, например, низкотемпературные эвтектические сплавы или стабильные химические соединения (со-кристаллы). Оба из этих случаев имеют решающее значение для разработки лекарств. Низкотемпературные эвтектики могут усложнять некоторые стадии производства таблеток, в то время как формирование со-кристаллов может влиять на биодоступность некоторых активных фармацевтических ингредиентов [7]. Несмотря на упомянутые сложности в технологии производства лекарственных форм, что явилось причиной

считать такие композиции фармацевтическими несовместимостями, эвтектики, тем не менее, могут представлять интерес как перспективная система доставки при разработки новых лекарств с прогнозируемыми биофармацевтическими характеристиками. Некоторые из них были успешно применены ещё в 1889 г. Бонейном [6] в оториноларингологии. Сейчас легко можно найти почти в любой аптеке EMLA-крем, главными действующими составными частями которого является эвтектическая смесь двух местноанестезирующих веществ: прилокаина и лидокаина. Сообщалось [10], что удивительно высокая проникающая способность через биологические мембраны активных его веществ, в том числе через неповрежденную кожу, связана как раз именно с тем, что действующие вещества находятся в эвтектическом соотношении.

Некоторые из эвтектик способны к образованию жидкокристаллических систем и температуры плавления их, вследствие известной для эвтектик температурной депрессии, могут оказаться даже ниже температуры поверхности тела человека. Последнее способствует тому, что эта расплавленная жидкость проникает через кожу быстрее, чем ожидалось. Образующиеся капельки так называемого переохлаждённого расплава, наподобие масляным, легко подвергаются эффективному самоэмульгированию с образованием капелек нано размерных величин [9].

Информацию о возможности взаимодействия между компонентами лекарственных форм следует извлекать из диаграмм равновесия фаз (ДРФ). ДРФ

могут быть получены на основе экспериментальных данных или вычислены, если доступны соответствующие термодинамические характеристики исходных веществ, используя известное уравнение Шредера-Ле-Шателье. Дифференциальная сканирующая калориметрия является одним из подходящих методов для определения ДРФ бинарных систем, содержащих органические вещества с относительно низкой температурой плавления [8], как например рассматриваемые кеторолак трометамола и, особенно, кетопрофен.

Цель работы – исследование фазовых равновесий в отношении конденсированной системы «Кетопрофен трометамола: Кеторолак трометамола» и доклинические испытания состава, отвечающего инвариантной точке на диаграмме состояния (плавкости) указанной системы.

Использованный в работе Кетопрофен трометамола был получен нами совместной кристаллизацией равных мольных долей Трометамина (CAS—77–86–1), производитель Мерск KGaA, и Кетопрофена (CAS—22071–15–4), производитель Вируд ГМБХ, путем растворения в этаноле и дальнейшим его полным испарением при стоянии и последующей многократной перекристаллизацией из этанола образовавшегося со-кристалла до получения одинаковой температуры плавления в двух последних фракциях ($\pm 0,1^\circ\text{C}$ ДСК). Кетопрофен трометамола представляет собой белый кристаллический порошок без запаха, легко растворим в воде. Температура плавления: $114,4^\circ\text{C}$.

Кеторолак трометамола (CAS—74103–07–4) производитель QUIMICA SINTETICA (Madrid – Spain), соответствующий требованиям Ph Eur 6, обладает противовоспалительной, анальгетической и умеренной жаропонижающей активностью.

Исследования фазовых равновесий проводили на дифференциальном сканирующем калориметре ДСК-500 [3] в режиме нагревания.

Составы для термоаналитических исследований готовили во всем диапазоне соотношений через 2-0,5 мольных процентов путем растирания в ступке рассчитанных масс исходных веществ в присутствии небольшого количества спирта для обеспечения большей эффективности измельчения и смешивания компонентов до полного испарения спирта.

ДСК-калориметр перед началом измерений был откалиброван по высокочистому стандарту In (Т.пл. $156,6^\circ\text{C}$) и соответствующей квалификации стандарту Sn (Т.пл. $231,9^\circ\text{C}$). Пробы реперных веществ массой около 1,5-5,0 мг нагревались в герметичных алюминиевых тиглях (сковородках) со скоростью 10°K в минуту в атмосфере воздуха. Термические исследования модельной бинарной системы проводили в интервале температур от 20 до 250°C в режиме нагревания со скоростью $10^\circ/\text{мин}$ в атмосфере воздуха. Масса навесок опытных образцов для сканирования составляла около 20 мг. По данным термических исследований построена диаграмма состояния (плавкости) системы (рис. 1). Конгруэнтное равновесие реализуется для данной системы при соотношении 72:28% мол ($71,9:28,1\%$ масс.) кетопрофен трометамола и кеторолак трометамола соответственно. Температура плавления эвтектического состава $107,8^\circ\text{C}$.

По общему виду диаграммы видно, что систему «Кетопрофен трометамола – Кеторолак трометамола» согласно классификации Гиббса-Розебома следует относить к простым эвтектикам [2].

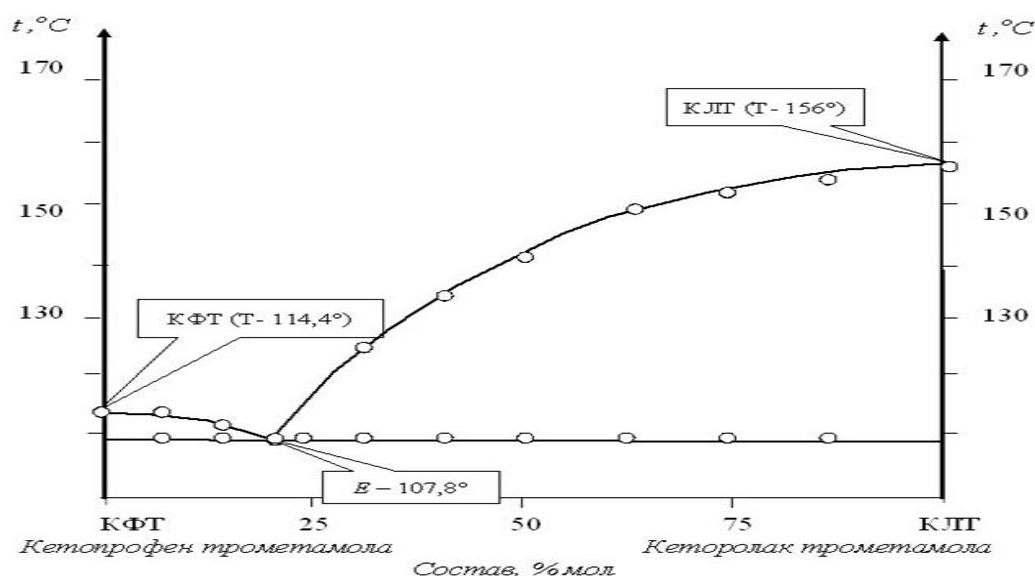


Рис. 1. Диаграмма состояния (плавкости) системы «Кетопрофен трометамола (КФТ) Кеторолак трометамола (КЛТ)». По оси абсцисс (барицентрическая) – концентрация, мол %. По оси ординат – температура, градусы Цельсия.

Доклинические испытания противовоспалительной активности проводили на белых беспородных крысах обоего пола с использованием: смеси

Кетопрофен трометамола-Кеторолак трометамола (1:1 мол) и эвтектического состава Кетопрофен тро-

метамола-Кеторолак трометамола. Для эксперимента крысы делились на три группы: одна контрольная и две опытные по 9 особей в каждой. Контрольная группа получала с помощью внутривенного зонда только воду (2% от массы тела), а опытные группы тем же путем – исследуемые образцы: смесь Кетопрофен трометамола – Кеторолак трометамола 1:1 мол, и эвтектическая композиция «Кетопрофен трометамола – Кеторолак трометамола».

Воспалительная гипералгезия (повышенная болевая чувствительность тканей) вызывалась субплантарным введением 0,1 мл 1% раствора каррагинина подопытным животным [4]. Оценку вели по снижению порога болевой чувствительности (ПБЧ) в условных единицах (по разности ПБЧ на механическое раздражение тканей лапы животного (давление) до введения каррагинина и через 3 ч после него) при помощи анальгезиметра типа Ugo Bazile.

Таблица 2.

Число вариант = 9	Порог болевой чувствительности (ПБЧ) до введения каррагинина			Порог болевой чувствительности (ПБЧ) после введения каррагинина		
	Контроль	Кетопрофен трометамола: Кеторолак трометамола (1:1 мол)	Эвтектика Кетопрофен трометамола: Кеторолак трометамола	Контроль	Кетопрофен трометамола: Кеторолак трометамола (1:1 мол)	Эвтектика: Кетопрофен трометамола: Кеторолак трометамола
Среднее	188,5	271,9	271,9	167,5	328,4	372,8

* - различия показателей достоверны ($P < 0,05$)

Как видно из таблицы, в среднем ПБЧ после введения каррагинина снизился на 21,0 (188,5–167,5). Под воздействием состава эвтектики Кетопрофен трометамола-Кеторолак трометамола на фоне введенного каррагинина порог болевой чувствительности увеличился на 100,9, в то время как увеличение ПБЧ в аналогичном эксперименте с использованной смеси 1:1 мол произошло лишь на 56,5 (328,4–271,9). Таким образом, анальгетический эффект эвтектического состава почти в 2 раза выше ($100,9/56,5 = 1,78$) аналогичного показателя, полученного нами в отношении состава 1:1 мол таких же составляющих в сопоставимых дозах.

Причину того, почему эвтектика оказалась более активной, чем модельная смесь таких же компонентов, но в соотношении 1:1 мол ещё предстоит установить, но уже сейчас ясно, что живая клетка на присутствие эвтектики лекарственных веществ откликается неожиданным образом, что делает эвтектическую формацию, как своеобразную систему доставки лекарственного вещества, весьма интересным научным объектом.

Список литературы:

1. Алесковский В.Б. Химия твердых веществ. М., 1978, С.20-37.
2. Аносов В. Я., Озерова М. И., Фиалков Ю. Я. Основы физико-химического анализа, Москва, Наука, 1976; С. 125–127.
3. Мощенский, Ю.В. Дифференциальный сканирующий калориметр ДСК- 500 // Приборы и техника эксперимента. – 2003; 6: 143–144.

4. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. / Под общей ред. Р.У. Хабриева. –2-е изд., перераб. и доп. // М.: ОАО «Изд. Медицина», – 2005; 832 с.

5. Тенцова А.И., Добротворский А.Е. Твердые дисперсные системы в фармации // Фармация.– 1981; 2: 65-69.

6. Bonain, A., Note au sujet de l'anesthésique local employé en oto-rhinolaryngologie sous la domination liquide de Bonain // Ann Malad Oreille Larynx. – 1907; 33: 216–217.

7. Hwang M. Bi, S.-J., Morris K.R. Mechanism of eutectic formation upon compaction and its effects on tablet properties // Thermochim. Acta. –2003; 404: 213–226.

8. Matsuoka M., Ozawa R. Determination of solid-liquid phase equilibria of binary organic systems by differential scanning calorimetry // J. Cryst. Growth. –1989; 96: 596–604.

9. Nazzal S., Smalyukh I. I., Lavrentovich O. D., Khan Mansoor A. Preparation and in vitro characterization of a eutectic based semisolid self-nanoemulsified drug delivery system (SNEDDS) of ubiquinone: mechanism and progress of emulsion formation // International Journal of Pharmaceutics.– 2002; 235: 247-265.

10. Sarah Fiala, Stuart A. Jonesa, Marc B. Brown. A fundamental investigation into the effects of eutectic formation on transmembrane transport // International Journal of Pharmaceutics // 2010; 393: 68–73.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МАТЕМАТИКА САБАҒЫН АРАЛАС ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ҰЙЫМДАСТЫРУ

Досмұхамедов Х.

атындағы Атырау мемлекеттік университеті,

Сүлейменова А.С.

Магистрант

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.7](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.7)

АННОТАЦИЯ.

В статье рассматривается использование смешанного обучения на уроках математики в школе и предлагается набор технологий при переходе к смешанному обучению, прогнозируются возможные результаты.

ANNOTATION.

The article discusses the use of blended learning in mathematics lessons at school and offers a set of technologies in the transition to blended learning, predicting possible results.

Ключевые слова: технология, дистанционное обучение, смешанное обучение, перевернутый класс.

Keywords: technology, distance learning, blended learning, inverted class.

Әлемдік нарықта Қазақстанның бәсекеге қабілеттілігін тілге тиек етсек, мемлекетіміздің болашағы – білім жүйесі арқылы жүзеге асатынын ескерген жөн. Индустриалды экономика жағдайында адамдық қор елдің басты байлығы болып табылады. Сондықтан білім жүйесінің басты міндеттерінің бірі ауыспалы заман талабына бейім, еркін, дамыған және білімді, бәсекеге қабілетті тұлға тәрбиелеу. Осы мақсатта аралас оқыту технологиясын білім беру жүйесінде жүзеге асыру мақсатқа жетудің бірде бір жолы екені анық.

Бүгінгі білім беру жүйесі аралас оқыту технологиясының бастапқы сатысында деуге болады. Бұған себеп, аралас оқытудың модельдерінің әртүрлі болуы. Аралас оқыту – білім берудің жаңаша моделі. «Цифрлық Қазақстан» жеке бағдарламасын әзірлеуді және қабылдауды тапсырамын» деген Елбасы инновациялық біліктілікке баса назар аударған және төртінші басымдық ретінде аталған «Адами капитал сапасын жақсарту» бөлімінде «Ең алдымен, білім беру жүйесінің рөлі өзгеруге тиіс. Біздің міндетіміз – білім беруді экономикалық өсудің жаңа моделінің орталық буынына айналдыру. Оқыту бағдарламаларын сыни ойлау қабілетін және өз бетімен іздену дағдыларын дамытуға бағыттау қажет. Сонымен бірге, IT-білімді, қаржылық сауаттылықты қалыптастыруға, ұлтжандылықты дамытуға баса көңіл бөлу керек. Қала мен ауыл мектептері арасындағы білім беру сапасының алшақтығын азайту қажет», – деген.[1] Осыған орай АКТ-ны жаппай білім мен ғылым жүйесіне енгізу жаңа білім технологияларын пайдалану, соның ішінде, қашықтықтан оқыту сияқты модельдері, білім берудің парадигмасының өзгерісіне, жаңа стандарт пен талаптардың, білім берудің әдістемесінің өзгерісіне, бағалау критерийлері мен қадағалау форматын қайта қарауға және де білім берудің өзіндік даму стратегиясының өзгерісін талап етеді. Әлемдік даму үдерісі АКТ ны пайдаланумен дәстүрлі оқу процесіне белгілі бір өзгерістер тенденциясын енгізді және білім берудің

жаңа модельдерінің туындауына септігін тигізді. Олардың бірі аралас оқыту («blended learning») болып табылады.

Аралас оқыту бұл білім берудің әртүрлі тәсілдерінің тиімді тіркесі

Аралас оқыту – бұл электрондық және дәстүрлі оқытудың тәсілдерінің интеграциясы. Қоғамның дамуы, соның ішінде білім жүйесі соңғы 10-15 жылда технологиялық және ақпараттық белестермен анықталуда. Қазіргі таңда мектеп бәсекеге қабілетті, қандай да бір қиындықтардың ұтымды шешімін таба білетін тұлға тәрбиелеуге бағытталған. Жалпыға ортақ білім берудің стандарты білім үдерісінде және оқушылардың тәрбиесінен келесі нәтижені алу арқылы анықталады: пәндік, метапәндік және тұлғалық. Қоғамның заманауи даму деңгейінсіз бұл нәтижелерге қол жеткізу мүмкін емес. Заманауи даму деңгейі дегеніміз жаңа техникалық құрылғыларды өмірдің әр облысында пайдалану. Балалар мектеп жасына дейін де цифрлық ортаға тең бейімделеді және мектепке келе өздеріне қолайлы орта, заман талабына сай ортада білім алу керек.

Дегенмен барлық білім беру үдерісін жауапкершілік пен өзін-өзі ұйымдастыруды қажет ететін тек қана цифрлыққа өзгертіп, қашықтықтан оқыту мүмкін емес, себебі әр баланың жас ерекшеліктеріне байланысты қажеттілігі бар. Сонымен қатар барлық дәстүрлі білім беру үдерісін, түгелдей ақпараттық технологиялық құралдар арқылы беру тиімді емес.

Аралас оқыту – болжаушылардың бағасы бойынша қазіргі заман білімінің тренді болып табылады және жақын арадағы онжылдықта солай бола бермек.

«Аралас оқыту» ағылшын тілінен тікелей аударылған blended learning сөзінің аудармасы болып табылады. Learning — оқу, яғни бұл оқушы белсенділік танытып білім мен білік дағдыларын қалыптастыратын үрдіс.

Алғаш аралас оқытудың негізгі қағидасы ХХ ғасырдың 60-жылдары жоғары білім жүйесінде пайдаланылды, ал термин болып ең алғаш 1999 жылы қолданысқа ие болды. Бұл жылы американдық Интерактивті Оқу Орталығы интернет арқылы оқытудың бағдарламалық жасақтамасын шығарған еді. [2]

Басқа педагогикалық технологияларға қарағанда аралас оқыту технологиясының нақты авторы жоқ және көп жағдайда қолданыстағы оқытудың тәсілдері мен бағыттарына жаңашылдық енгізу арқылы ат үсті пайда болған технология болып табылады. Аралас оқытудың бұндай атүстілік және көпфакторлылық жолмен пайда болуы оған нақты анықтама беріп талдау жасауда қиындық тудырады.

Аталған технологияға анықтама берсек: «Аралас оқыту – бұл электронды оқыту мен бетпе бет оқытуды бірлестіре отырып, оқушының өз бетімен оқудың уақыты, орны, темпы, траекториясы сынды талаптарын таңдауға мүмкіндік беретін білім технологиясы».

Осылайша аралас оқыту технологиясын электронды оқу мен тікелей оқудың, әрқайсысының кемшіліктерін жою немесе толықтырудың тиімді тәсілі ретінде синергиялық технология ретінде қарастыруға болады.

Жаңартылған білім мазмұнына көшуде дәстүрлі оқулықпен қатар цифрлық оқыту ресурстарын (ЦОР) қолданудың маңызы зор. ЦОР - оқыту барысында қолданылатын бейнематериалдар мен интерактивті материалдар. Әрине, олар педагогты оқыту ісінен шеттетпейді. Ұстаз сыныптағы басты тұлға болып қала бермек. Алайда, бейнематериалдар мен интерактивті сабақтар мұғалімнің балаларға қажетті ақпаратты жеткізу міндетін айтарлықтай жеңілдетері сөзсіз. [3]

Сонымен қатар облыстың 157 мектебінде Bilimland.kz білім беру тұғырнамасының мүмкіндіктері оқу процесінде қолданылуда, бұл интерактивті сабақтарға қатысуға мүмкіндік береді, сонымен қатар мектеп бағдарламасы негізінде жасақталған қазақ, орыс, ағылшын тіліндегі оқыту ресурстарымен жабдықталған.

Аралас оқыту технологиясы Атырау қаласы Ағылшын тілін тереңдетіп оқытатын техникалық гимназияның 8«В» сыныбында 2018 жылдың қараша айынан ұйымдастырылды.

Заманауи талаптарға сәйкес, бүгінгі бала, ертеңгі маман бәсекеге қабілетті болуы үшін барлық мектептер жаңартылған білім мазмұнына көшуде.

Жаңартылған білім беру бағдарламасы кестеге сәйкес кезең-кезеңмен енгізіледі: 2016 жылы - 1 сыныптар; 2017 жылы - 1,2, 5,7 сыныптар; 2018 жылы - 1,2,3,6,7,8,10 сыныптар; 2019 жылы - барлық 1-11 сыныптар.

Аралас оқыту технологиясын енгізіп тәжірибе жасаған 8 «В» сыныбы 2017-2018 оқу жылынан бері жаңартылған білім мазмұны аясында білім алуда. Алгебра және геометрия пәндері аптасына 5 сағат (алгебра-3с., геометрия – 2 с.) оқытылады.

Бекітілген ұзақ мерзімді жоспарға сәйкес 8-сыныпта алгебра пәнінде II токсанда қарастырылатын тарау «8.2А Квадрат теңдеулер». Тарау бөлімдері: Квадрат теңдеу, Квадрат теңдеулерді шешу, Квадрат үшмүше, Теңдеулерді шешу, Мәтін есептерді шығару.

Аталған тараудың екінші бөлімі: «Квадрат теңдеулерді шешу», келесі оқу мақсаттарын көздейді: 8.2.2.3 квадрат теңдеулерді шешу; 8.2.2.4 Виет теоремасын қолдану. Бұл бөлім 7 сабақты қамтиды.

Оқу мақсаттарына негізделіп жасалған сабақтың құрылымы, өткізілу формасы және таңдалған тапсырмалар өткен тақырыпты қайталауға, бекітуге және оқушылардың алған білімдеріне талдау жасауға, ақауларға толықтыру жасауға мүмкіндік береді. Басты мақсаттардың бірі - жиынтық бағалауға (ЖБ) дайындық.

Тәжірибе аралас оқытудың «Төңкерілген сынып» моделі бойынша жүзеге асты. Алдын ала дайындық бөлімінде жаңа тарауды оқытуды бастаған кезде, яғни бір апта уақыт бұрын, оқушыларға Kundelik.kz арқылы квадрат теңдеулерді шешу тақырыбында теориялық сұрақтар және өз бетімен орындауға оқу мақсатына сай есептер мен тест тапсырмалары беріледі.

1. Квадрат теңдеу дегеніміз не
2. Толымсыз квадрат теңдеу дегеніміз не?
3. Келтірілген квадрат теңдеу дегеніміз не?
4. Теңдеу түбірі дегеніміз не?
5. Теңдеуді шешу дегеніміз не?
6. Квадрат теңдеудегі а, в, с - сандары қалай аталады?
7. Дискриминант қандай формуламен есептеледі?
8. Егер дискриминант нөлден кіші болса, теңдеудің қанша түбірі болады?
9. Егер дискриминант нөлге тең болса, теңдеудің қанша түбірі болады?
10. Егер дискриминант нөлден үлкен болса, теңдеудің қанша түбірі болады?
11. Квадрат теңдеудің түбірін табу формуласын жаз. – деген сынды сұрақтар оқушыларға қойылды.

Тапсырмалар:

Егер a, b, c -ның мәндері белгілі болса, онда $ax^2 + bx + c = 0$ квадрат теңдеудің құр:

- a) $a = 4, b = 3, c = 15$
- б) $a = 7, b = -5, c = 1$
- в) $a = 1, b = 1, c = 100$
- г) $a = -1, b = 1,2, c = -1,5$

Тест тапсырмалары:

1. Жалпы квадрат теңдеудің формуласы
 - A) $ax^2 + bx + c = 0$
 - B) $x + px - q = 0$
 - C) $a + bx = 0$
 - D) $ax + c = 0$
2. Дискриминанттың формуласы:
 - A) $D = 4ac$
 - B) $D = b + 4ac$
 - C) $D = b^2 - 4ac$

- D) $D = -4ac$
 3. $x^2 + 10x + 9 = 0$ теңдеуінің коэффициенттері мен бос мүшесін атаңдар.
 А) $a = 0$, $b = 6$, $c = -7$
 В) $a = 1$, $b = 10$, $c = 9$
 С) $a = 1$, $b = -6$, $c = -7$
 D) $a = 1$, $b = 6$, $c = 7$
 4. Егер $D > 0$, болса онда теңдеудің неше түбірі болады.
 А) бір түбірі
 В) екі түбірі
 С) түбірі болмайды
 D) төрт түбірі
 5. Теңдеуді $ax^2 + bx + c = 0$ түрінде жазыңдар.
 $x(2x - 3) = 5 - 4x$.
 А) $2x + x^2 - 5 = 0$
 В) $2 - 2x - 5x^2 = 0$
 С) $2x^2 + x - 5 = 0$
 D) $2 - 2x + 5x = 0$
 6. Теңдеуді шешіңдер: $x^2 - 5x + 6 = 0$ [1]:
 А) 3; 2
 В) -3; 2
 С) -2; 3
 D) -3; -2
 7. Теңдеуді шешіңдер: $10x^2 - 3x - 0,4 = 0$ [1]:
 А) 0; -0,1
 В) -0,1; -0,4
 С) 0,1; 0,4
 D) -0,1; 0,4.
 Есептер:
 5.17. Толық квадратты бөліп алу арқылы

теңдеуді шеш[2]:

- а) $x^2 - 6x + 8 = 0$
 б) $x^2 - x - 2 = 0$
 в) $x^2 + 10x + 9 = 0$
 г) $x^2 + 3x - 40 = 0$

5.18. Толық квадратты бөліп алу арқылы теңдеуді шеш[2]:

- а) $5x^2 + 3x - 2 = 0$
 б) $4x^2 - 3x - 22 = 0$

5.20. Квадрат теңдеуді шеш[2]:

- а) $x^2 - x - 90 = 0$
 б) $x^2 + 5x - 6 = 0$
 в) $4x^2 - x - 3 = 0$
 г) $2x^2 - 7x + 6 = 0$

5.23. Квадрат теңдеудің түбірлерін 0,01 дәлдікпен есепте[2]:

- а) $x^2 - x - 7 = 0$
 б) $x^2 + 7x + 3 = 0$
 в) $3x^2 + x - 5 = 0$
 г) $2x^2 - 3x - 3 = 0$

5.26. Теңдеуді шеш[2]:

- а) $(3x - 8)(7x + 5) = (3x - 8)^2$
 б) $3(5x + 3)(4x^2 - 1) = 8(4x^2 - 1)^2$

Сыныпта математикаға қабілеті жоғары 5-6 сарапшы оқушыны таңдалынды. Сабақтан тыс уақытта теориялық сұрақтарға ауызша жауап беріп, бетпе-бет немесе Kundelik.kz, WhatsApp жүйелері арқылы берілген тапсырмалар тексерілді. Эксперт оқушылар қажетінше мұғалімнен есеп шығару барысында қосымша көмек пен нұсқау алады. Әр сұрақ, әр есеп ұпаймен бағаланып, қорытындысы бағалау парақшасына енгізіледі.

Бағалау критерийлері:

Теориялық сұрақтар		Тапсырма		Тест тапсырмалары		Есептер	
Орта ұпай	Баға	Орта ұпай	Баға	Орта ұпай	Баға	Орта ұпай	Баға
9-10	Керемет	5	Керемет	9-10	Керемет	9-10	Керемет
7-8	Жақсы	3,75	Жақсы	7-8	Жақсы	7-8	Жақсы
4-6	Орташа	2,5	Орташа	4-6	Орташа	4-6	Орташа
4 тен кем	Талпын	2,5 тен кем	Талпын	4 тен кем	Талпын	4 тен кем	Талпын

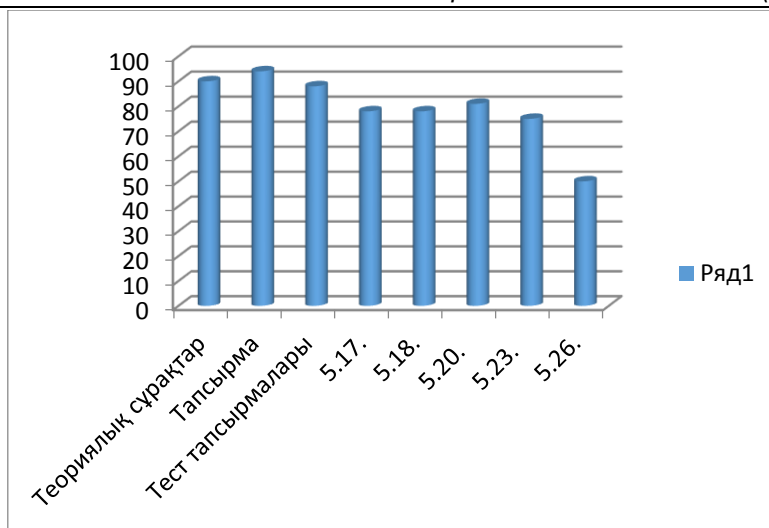
Кездейсоқ таңдау арқылы әр экспертке 5-6 оқушы бекітілді. Сабақ үстінде эксперттер мұғалімнің кейпінде: сұрақ қойды, оқушылардың жауаптарын тексерді және бағалады, бағалау парақшасын толтырды. Топтардың жұмысын мұғалім қадағалады. Сабақ соңында әр оқушы өз жұмыстарының нәтижесін график түрінде көрсетті. Сабақ соңында рефлексия жасалды, «Екі жұлдыз, бір тілек» стратегиясы арқылы оқушылар сабақта

ұнаған немесе қиындық көрген тұстарын лдын ала таратылған парақтарға жазып тапсырды.

Мұғалім бағалау парақшаларындағы нәтижелерді саралап, кесте құрды және келесі сабақта төмен нәтиже көрсеткен оқушылармен жеке жұмыс жасауға жоспар құрды.

Сыныпта барлығы 32 оқушы бар. Сабақ нәтижесі төмендегі кесте мен диаграммаларда көрсетілген (кестеде оқушы саны):

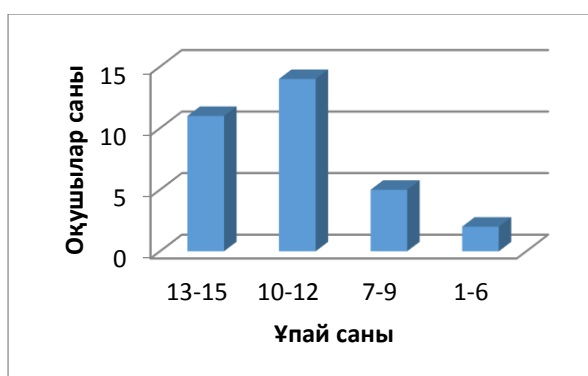
Тапсырмалар/ бағалау	Керемет	Жақсы	Орташа	Талпын	Орындамаған	Сапа (%)
Теориялық сұрақтар	17	12	5	-	-	90
Тапсырма	23	7	2	-	-	94
Тест тапсырмалары	15	13	4	-	-	88
5.17.	8	17	6	1	-	78
5.18.	9	16	7	-	-	78
5.20.	10	16	4	2	-	81
5.23.	9	15	5	-	3	75
5.26.	6	10	8	1	7	50



Тәжірибе нәтижесі оқушыларды теориялық білімге 90%-ға жуық дайындалғандығын және берілген тапсырмалар орындау арқылы жаңа сабақты өз беттерімен қызығушылықпен меңгергенін рефлексия нәтижесін талдаудан байқалды.



«Квадрат теңдеулер» тарауы бойынша оқушылардың бөлім бойынша жиынтық бағалауға 4 тапсырма, барлығы 15 ұпаймен бағаланды. Қорытындысы:



Берілген сабақтың артықшылығы: оқушылар өзін – өзі басқарып, өз бетімен жаңа материалды тиімді игерді. Кемшілігі: кейбір оқушыларға өз бетімен жұмыстанудан гөрі мұғаліммен бірге жұмыс жасау қажеттілігі туындады. Бірақ қорытынды нәтижедегі деректерді пайдалана отырып, аралас оқыту технологиясы оқу мақсатына

қол жетуге септігін тигізіп, тәжірибеге оң баға беруге лайық деп есептеймін.

Пайдаланған әдебиеттер:

1. Елбасы жолдауынан үзінді <https://aikyn.kz/2017/02/25/5161.html>
2. <http://interactiv.su/>

3. https://www.inform.kz/kz/zhanartylgan-bilim-mazmuny-kezen-kezenmen-zhuzege-asyrylady-aygul-mynbaeva_a2987603/

4. Джарасова Г.С., Салтанова Г.А. Внедрение технологий смешанного инициативного обучения в учебный процесс // Вестник ЗКГУ. №1(65). -2017. - С. 79-84.

5. Сборник задач по алгебре для 8-9 классов, М, «Просвещение», 1995, М.Л.Галицкий, А.М.Гольдман, Л.И.Звавич.

6. Научно-теоретический и методический журнал «Математика в школе», 7/2008.

"PHYSICAL EXPERIMENT IN TEACHING PHYSICS"

Buteyev Orazgali Zhumabekovich

AIU master student, Nur-Sultan city

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.5](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.5)

The laws of physics are based on empirically established facts. And often the interpretation of the same facts changes in the course of the historical development of physics. Facts accumulate from observations. But at the same time it should not focus only on them. This is only the first step to knowledge. Then the experiment and the development of concepts come that allow qualitative characteristics in the form of numbers. Consequently, without experiment there is not, and cannot be, rational teaching of physics; one verbal teaching of physics inevitably leads to formalism and mechanical learning. The first thoughts of the teacher should be directed to the student seeing the experience and doing it himself, seeing the device in the teacher's hands and holding it in his own hands.

A demonstration experiment is one of the components of an educational physical experiment and is a reproduction of physical phenomena by a teacher on a demonstration table using special instruments. It refers to illustrative empirical teaching methods. [3]

The value of a demonstration physical experiment is that:

- students get acquainted with the experimental method of knowledge in physics, with the role of experiment in physical research (as a result, they form a scientific worldview);

- some experimental skills are formed in students: observe phenomena, put forward hypotheses, plan an experiment, analyze results, establish relationships between quantities, draw conclusions, etc.

The demonstration experiment, being a means of clarity, contributes to the organization of students' perception of educational material, its understanding and memorization; allows you to carry out polytechnic training of students; promotes increased interest in the study of physics and the creation of learning motivation. But when a teacher conducts a demonstration experiment, students only passively observe the experience conducted by the teacher, while they themselves do nothing with their own hands. Therefore, it is necessary to have an independent experiment of students in physics. This is achieved when students perform a laboratory physical experiment, when they assemble the facilities themselves, carry out measurements of physical quantities, and perform experiments. Laboratory classes arouse great interest among students, which is quite natural, since the student's knowledge of the surrounding world takes place on the basis of his own experience and feelings. [4]

The importance of laboratory studies in physics lies in the fact that students form an idea of the role and place of an experiment in cognition. When students perform experiments, experimental skills are formed, which include both intellectual and practical skills. The first group includes the skills: to determine the purpose of the experiment, put forward hypotheses, select instruments, plan an experiment, calculate errors, analyze results, and issue a report on the work done. The second group includes skills: to assemble an experimental setup, observe, measure, experiment. In addition, the value of a laboratory experiment is that when it is performed, students develop important personal qualities such as accuracy in working with instruments; the observance of cleanliness and order in the workplace, in the records that are made during the experiment, organization, perseverance in obtaining a result. They form a certain culture of mental and physical labor. [5]

Frontal laboratory work is a type of practical work when all students in a class simultaneously perform the same type of experiment using the same equipment. Accordingly, in the office should be 15-20 sets of instruments for frontal laboratory work. The names of frontal laboratory work are given in the curriculum. There are many of them, they are provided for almost every topic of the physics course. Before carrying out the work, the teacher identifies the students' readiness to consciously do the work, determines its purpose together with them, and discusses the progress of the work, the rules for working with the instruments, methods for calculating measurement errors. Frontal laboratory works are not very complex in content, are closely related chronologically to the material under study and are designed, as a rule, for one lesson. Descriptions of laboratory work can be found in school textbooks on physics.

The physical workshop is conducted with the aim of repeating, deepening, expanding and generalizing the knowledge gained from various topics of the course in physics; development and improvement of experimental skills in students through the use of more sophisticated equipment, more complex experiment; the formation of their independence in solving problems associated with the experiment. The physical workshop is not related in time to the material under study, it is conducted, as a rule, at the end of the school year, sometimes at the end of the first and second half of the year and includes a series of experiments on a particular topic. Physical practical work students perform in a

group of 2-4 people on a variety of equipment; in the next classes, there is a change of work, which is done according to a specially drawn up schedule. Drawing up a schedule, take into account the number of students in the class, the number of practical work, the availability of equipment. For each job, the teacher must make a statement that should contain: name, purpose, list of instruments and equipment, a brief theory, a description of the instruments unknown to the student, a plan for completing the work. After the work, students should submit a report, which should contain: job name, work goal, instrument list, installation diagram or figure, work execution plan, results table, formulas from which values were calculated, measurement error calculations, and conclusions. [6]

Interesting experiments in physics can not only illustrate various physical processes, but also stimulate cognitive activity and the desire to learn. An interesting confirmation of the existence of inertia is an ordinary top. Each particle of the top moves in a circle in a plane perpendicular to the axis of rotation. According to the law of inertia, the particle at each moment of time tends to descend from the circle on a straight line tangent to the circle. But every tangent is located in the same plane as the circle itself; therefore, each particle tends to move so that all the time to remain in a plane perpendicular to the axis of rotation. It follows that all planes in the top are perpendicular to the axis of rotation, tend to maintain their position in space, and therefore the common perpendicular to them, i.e. the axis of rotation itself, also seeks to maintain its balance, the top seems to resist trying to overturn it. The more massive the top and the faster it rotates, the more stubbornly it counteracts the rollover. So in the laboratory, you can do the following experiment. Take a centrifugal machine and strengthen the disk on it (disk siren). Put a candle on the edge of the disk and cover it with a conical vessel to demonstrate the hydrostatic paradox. Secure the vessel to the disk with wire. Why does the candle flame deviate from the axis of rotation when the disk is rotated?

Answer: cold, denser air moves away from the axis of rotation, and warm, less dense, approaches, which explains the deflection of the flame.

The force of gravity with which the bodies are attracted to the Earth must be distinguished from the weight of the body. The concept of weight is widely used in everyday life. The weight of a body is the force with which a body, due to its attraction to the Earth, acts on a support or suspension. It is assumed that the body is motionless relative to the support or suspension. Let the body lie on a horizontal table fixed relative to the Earth. The reference system associated with the Earth will be considered inertial. The force with which the Earth or another planet acts on all bodies near its surface is called gravity. Gravity is directly proportional to body weight. Now it is clear to you why a body with a larger mass is heavier, because the Earth attracts it with greater force. Gravity acts on the body vertically downwards. The following experiments can be used to test the theory: Take a disk made of metal (plywood or plastic) with a diameter of 10 cm. Cut a piece of paper according to its size. In one hand, take a paper disk, and

in the other metal (plywood or plastic) and allow them to fall freely from the same height. Why metal disk will fall faster than paper? Put the paper disk on the metal and let them fall freely. Why in this case they fall at the same time? [1]

Answer: Two forces act on each disk: the force of gravity and the force of air resistance. At the beginning of the motion, the resultant of these forces is directed downwards, more for a metal disk, so it will move with greater acceleration. But with increasing speed, the air resistance force will increase and become equal to gravity. As a result, both disks will move uniformly, but the metal disk will move with greater speed. (A similar situation occurs when the parachutist is in a state of free flight: jumping out of an airplane, he has a relatively low speed and then accelerates to about 50 m / s, these two forces are balanced and he falls at a constant speed).

In the second case, the air resistance will overcome only the metal disk, and the force of gravity gives the bodies equal accelerations regardless of their masses.

Take two sheets of paper of the same size and weight. Crumple one sheet. Simultaneously release the sheets from the same height. Why does the crumpled sheet fall faster?

Answer: A crumpled piece of paper falls faster, as it is affected by less air resistance.

Friction is a type of interaction between bodies. It occurs when two bodies come into contact. Friction, like all other types of interaction, obeys Newton's third law: if a friction force acts on one of the bodies, then the force of the same magnitude, but in the opposite direction, acts on the second body. The forces of friction, as well as the elastic forces, have an electromagnetic nature. They arise as a result of the interaction between atoms and molecules of contiguous bodies. Dry friction forces are the forces that arise when two solid bodies come into contact in the absence of a liquid or gaseous layer between them. They are always directed tangentially to touching surfaces. Dry friction that occurs when bodies are relatively at rest is called resting friction. The force of static friction is always equal in magnitude to the external force and directed in the opposite direction.

Here is an experience showing what happens if the action of the friction force is small. Take a silk thread. We tie its end to knots to any load and pull the second end of the thread. The knots will be untied. Or there is an even more difficult experience to explain. Take a ruler and place it horizontally on your index fingers. Slowly move your fingers to the center of the ruler. Why does the ruler move one by one, then by another finger? [2]

Answer: The force of pressure from the ruler to the fingers changes with movement. Thus, the friction force between the fingers and the ruler also changes. If one finger is closer to the center, then pressure acts more on it. Between it and the ruler, there is a large pressure force, so the second finger moves, and so on.

Already in the definition of physics as a science, there is a combination of both theoretical and practical parts in it. It is considered important that, in the process

of teaching physics, a teacher can demonstrate as fully as possible to his students the interrelation of these parts. After all, when students feel this relationship, they will be able to give the correct theoretical explanation to many processes occurring around them in everyday life, in nature. This may be an indicator of fairly complete ownership of the material. What forms of practical training can be offered in addition to the teacher's story? First of all, of course, students observe the demonstration of experiments conducted by the teacher in the classroom while explaining new material or repeating the lessons, one can also offer experiments conducted by the students themselves in the classroom during the lessons in the course of frontal laboratory work under the direct supervision of the teacher. [7]

You can also offer:

- 1) experiments conducted by the students themselves in the classroom during a physical workshop;
- 2) demonstration experiments conducted by students in response;
- 3) experiments conducted by students outside the school on the teacher's homework; 4) observations of short-term and long-term phenomena of nature, technology and life, conducted by students at home on the special assignments of the teacher.

Experience not only teaches, it fascinates the student, makes better understand the phenomenon that he demonstrates. After all, it is known that a person interested in the final result achieves success. So in this case, having interested the student, we will continue the craving for knowledge.

Literature

1. Entertaining experiments in physics in grades 6-7. L.A. Gorev. М.: "Prosveshcheniye", 1985.
2. Entertaining physics. Ya.I. Perelman. М.: "Science", 1991.
3. Methodical literature on the course of physics WWW.METHODIST.RU
4. Collection of physical laws "Bernoulli's law" WWW.ADNET.RU
5. Course of Physics. T.I. Trofimova, ed. "High School", М., 1999
6. Collection of methods and techniques of physical experiment. Ed. N.V. Alekseeva. М.: Uchpedgiz, 1960.
7. Theory and methods of teaching physics in school. General issues. Ed. S.Ye. Kamenetsky, N.S. Purysheva. М.: "Academy", 2000.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ТОРОИДАЛЬНЫХ ТОКОВЫХ СТРУКТУР.

Показано существование внешнего магнитного поля и структура внутреннего магнитного поля в тороидальных структурах с полоидальным током.

Григорьев Евгений Александрович
частный исследователь

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.4](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.4)

Ключевые слова: торы, внешнее магнитное поле, удержание термоядерной плазмы.

Keywords: tori, external magnetic field, confinement of thermonuclear plasma.

16 января 2000 года сделано большое научное открытие - впервые в электродинамике численно рассчитано и экспериментально измерено внешнее магнитное поле (МП) электропроводных тороидальных структур с полоидальным током (Рис.1). Ранее, в классической электродинамике, это считалось невозможным. Историю открытия и его возможные последствия можно узнать на сайтах <http://thermonuclear.narod.ru> и <http://thermonuclear.ru> – там раскрыты все Ноу-хау. Стрелками, обозначенными \mathbf{i} , показаны векторы элементов тока. Рассматривались торы с отношением $R/r \approx 1$ и $R/r \approx$

2. Результаты расчетов выведены в виде графиков Кантора. Линии на графиках показывают сечение поверхностей уровня равной напряженности МП. Графики – в условных единицах. Направление вектора напряженности МП – перпендикулярно к плоскости изображения, так как силовые линии МП имеют исключительно азимутальную (или тангенциальную или касательную к окружности, которая лежит в плоскости XY и с центром на оси Z) составляющую.

Вначале рассчитывалось МП внутри тора. Тор с отношением $R/r \approx 1$ (Рис.1).

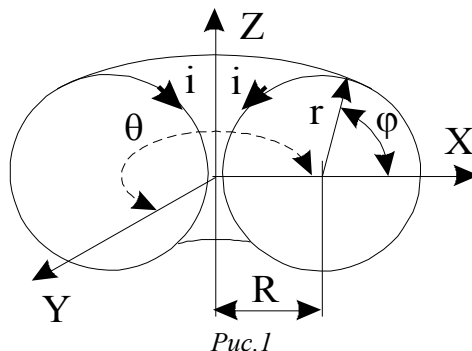
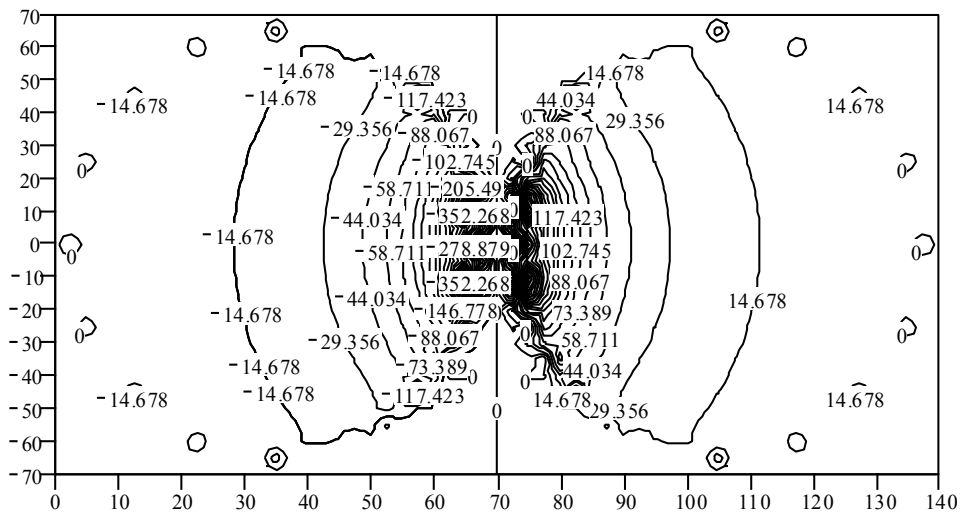


Рис.1

Сейчас многие математики и физики всерьёз взялись за изучение тороидально-вихревых структур. Так что торы ещё ждут своих исследователей, которым они откроют свои тайны.



В

Рис.2

Тор с отношением $R/r \approx 2$ (Рис.3).

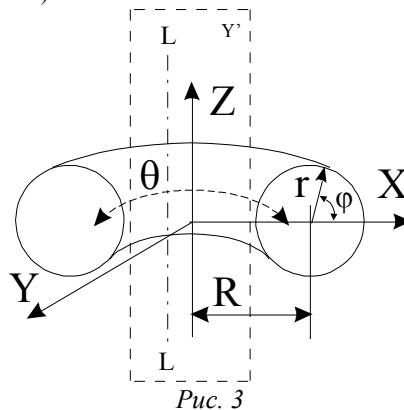
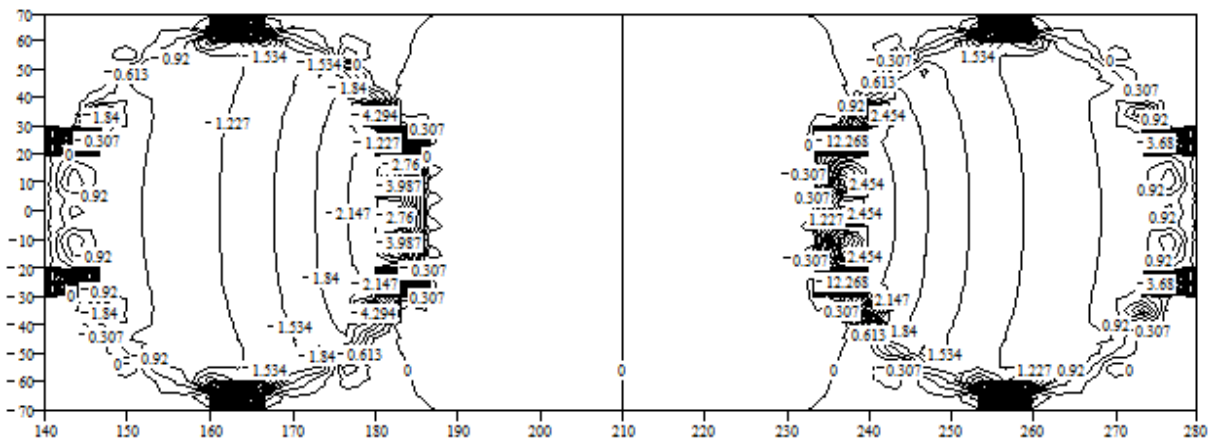


Рис. 3



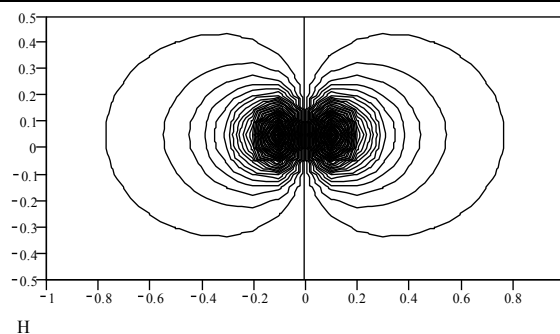


Рис. 5

Затем было рассчитано **ВНЕШНЕЕ** МП вне тора в плоскости XZ в ее части Y' (см. Рис. 3).

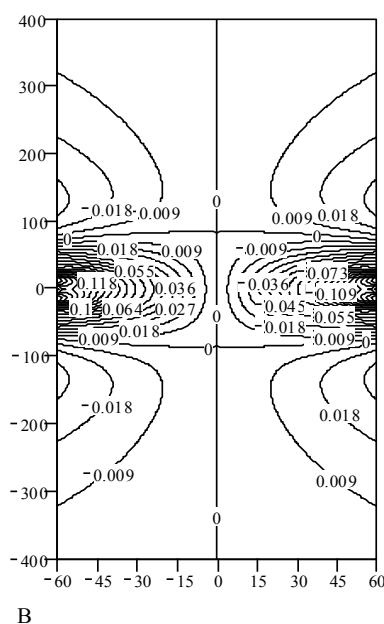


Рис. 6

Напряженность МП в плоскости Y' ($y = 0$) в виде графика Кантора.

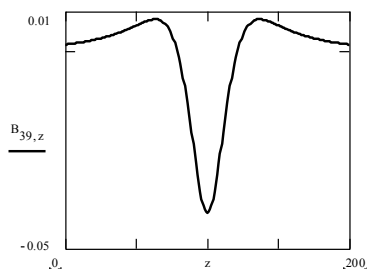


Рис. 7

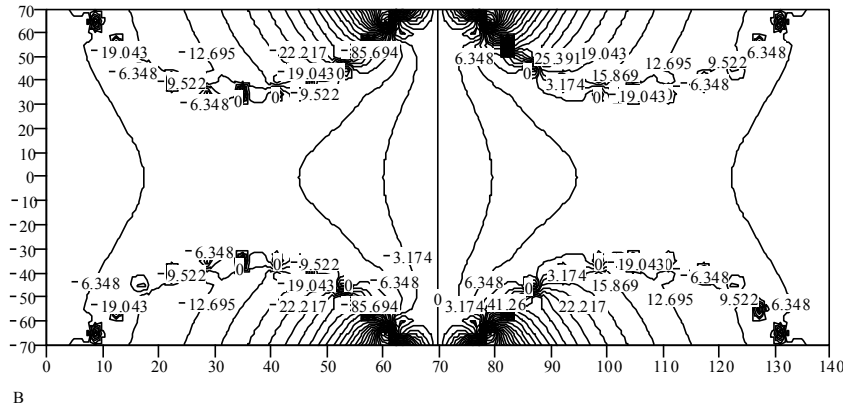
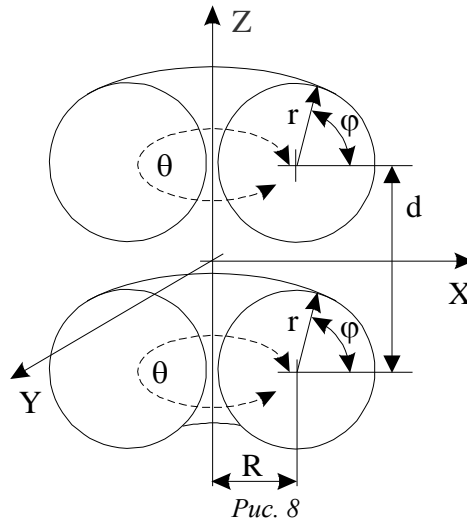
Напряженность МП вдоль прямой L - L; [$y = 0, x = \text{const}, B = f(z)$].

На графике (Рис.6) видно, что **ВНЕШНЕЕ** МП тора существует. График на Рис.7 выявляет особенность этого МП - три экстремума и два нуля. Подобное МП измерено экспериментально. Из Рис.7 видно, что при осевом сближении двух торов вначале возникает их отталкивание, а после преодоления потенциального барьера - притяжение. Система входит в состояние с минимальным магнитным потоком (минимальной энергией) и становится устойчивой.

Расчет **внешнего** МП, создаваемого системой из двух соосных торов и между ними (Рис.8) показывает, что оно имеет минимум по трем координатам в центре системы и напряжённостью, нарастающей по направлению из центра кривизны силовых линий (Рис.9). Все это показывает бесперспективность удержания плазмы внутренним МП в замкнутых ловушках с тороидальной конфигурацией МП типа “Токамак” и “Стелларатор” - удержание возможно только в открытой плазменной ловушке

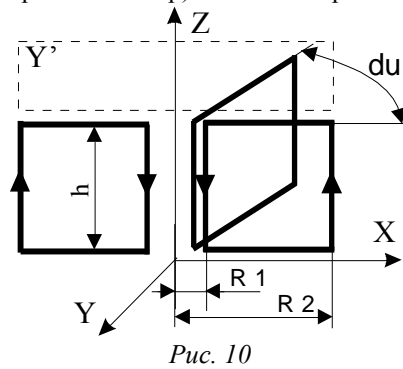
внешним МП системы двух соосных торов произвольной конфигурации. Подобное МП измерено экспериментально. Расчёты, также, показывают,

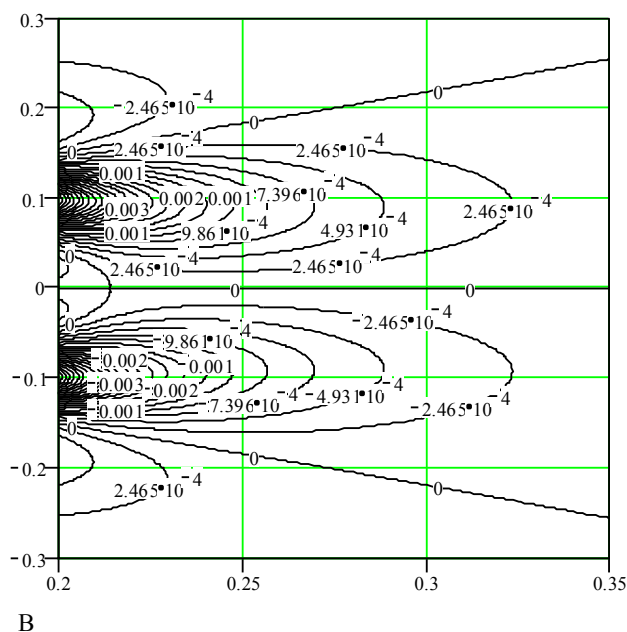
что из центра такой системы вдоль оси Z будет вылетать плазменная струя с температурой 100 млн. градусов и скоростью 10000 км/сек. Это новая мировая энергетика.



Предыдущие расчеты были сделаны для сплошных токовых поверхностей. Теперь сделаем расчет для тора, состоящего из отдельных прямоугольных витков с током (сегментированный тор)

Рис.10, Рис.11. Это делается для проверки возможности воспроизведения МП сплошного тора полем сегментированных (реальных) торов. Подобное МП измерено экспериментально.





В
Рис.11 Структура внешнего магнитного поля сегментированного тора в плоскости Y' (XZ) в виде графика Кантора.

Показаны сечения поверхностей уровня равной напряженности МП.

Вектор напряженности направлен перпендикулярно плоскости рисунка.

1) *И.Е. Тамм* // "Основы теории электричества", М, Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1989. с.504.

2) *С.Г. Калашиников* // "Общий курс физики", том 2, государственное издательство технико-теоретической литературы, Москва, 1956.

3) *С.Ю. Таскаев* // Физика плазмы, сентябрь, 1997, т.23, №12, с.1123; "Динамика потенциалов

при нагреве струи в пробкотроне атомарными пучками".

4) *Т.С. Симонен* // Физика плазмы, сентябрь, 1997, т.23, №9, с.771; "Устойчивость плазмы с высоким давлением при благоприятной кривизне силовых линий магнитного поля".

5) *С.В. Путвинский* // УФН, ноябрь 1998, т.168, №11, с.1235; "Возможна ли будущая мировая энергетическая система без ядерного синтеза".

6) "Физический энциклопедический словарь", гл. редактор А. М. Прохоров, Москва, "Советская энциклопедия", 1983.

О ПЛОЩАДЯХ РОМБОВ, ВПИСАННЫХ В ЭЛЛИПС ИЛИ ОПИСАННЫХ ВОКРУГ НЕГО

Далингер Виктор Алексеевич

доктор педагогических наук, профессор,
заведующий кафедрой математики и методики обучения математике
Омского государственного педагогического университета, г. Омск

Симонженков Сергей Дмитриевич

кандидат физико-математических наук, доцент
г. Омск

Громов Валентин Алексеевич

кандидат физико-математических наук, доцент
г. Омск

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.1](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.1)

АННОТАЦИЯ.

В статье рассматриваются геометрические задачи на максимум и минимум, которые показывают соотношение площадей ромбов, вписанных в эллипс и описанных около него.

ABSTRACT.

The article discusses the geometric problems of maximum and minimum, which show the ratio of the areas of rhombuses inscribed in an ellipse and described around it.

Ключевые слова: главный вписанный ромб; ромб, вписанный в эллипс; ромб, описанный около эллипса; площади ромбов, вписанных в эллипс и описанных около эллипса.

Keywords: main inscribed rhombus; rhombus inscribed in an ellipse; the rhombus described near the ellipse; the area of the rhombus inscribed in the ellipse and described near the ellipse.

В мире не происходит ничего, в чем бы
не был виден смысл какого-нибудь
максимума или минимума.
Л.Эйлер

Большая часть вопросов практики приводится к задачам наибольших и наименьших величин,
и только решением этих задач мы можем удовлетворить требованиям практики,
которая везде ищет самого лучшего,
самого выгодного.
П.Л.Чебышев

В координатной плоскости дан эллипс, заданный каноническим уравнением

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, a > b.$$

Пусть A, B, A', B' – вершины эллипса, перечисляемые по ходу движения против часовой стрелки. Ромб с вершинами в этих точках назовем главным вписанным ромбом.

В данной статье решаются следующие задачи.

Задача 1. Среди всех вписанных в эллипс ромбов найти тот, у которого площадь а) наибольшая; б) наименьшая.

Ответ: а) наибольшая площадь у главного ромба, равная $2ab$;

б) наименьшая площадь у вписанного квадрата, равная $\frac{4a^2b^2}{a^2+b^2}$.

Задача 2. На продолжении большой оси эллипса выбирается некоторая точка C и вокруг эллипса описывается ромб, одна из вершин которого совпадает с точкой C . При каком положении точки C площадь ромба наименьшая?

Ответ: при удаленности точки C от центра эллипса на расстояние $a\sqrt{2}$. Ниже приводятся решения указанных задач, из которых будут ясны приведенные ответы.

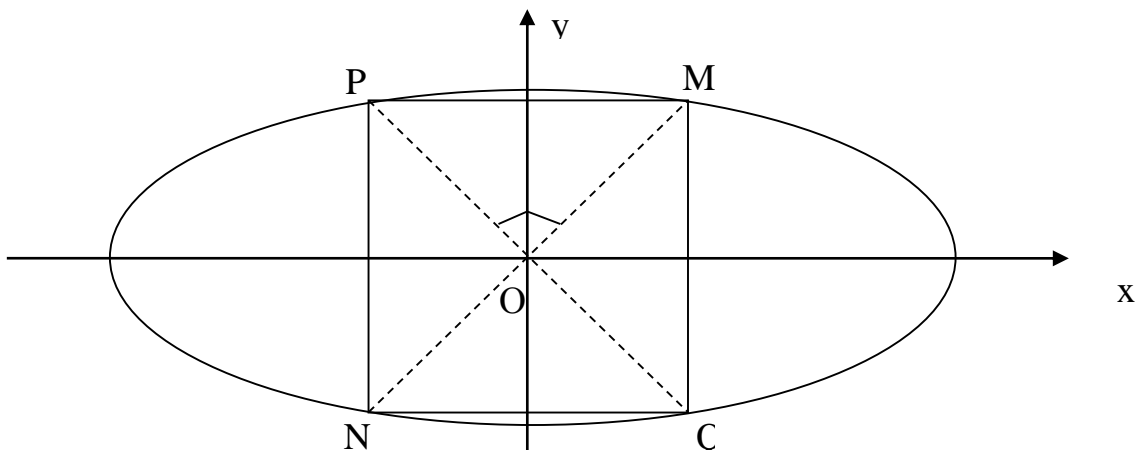


Рис. 1

Решение задачи 1. На дуге AB берем точку $M(x, y)$, $0 \leq x \leq a$ (рис. 1).

Здесь проведена прямая OM и перпендикуляр к ней, проходящий через центр эллипса. Четырехугольник $MPNQ$ – ромб. Пусть x_1, y_1 – координаты точки P . Имеем: $N(-x, -y)$, $Q(-x_1, -y_1)$, площадь ромба $S = \frac{1}{2} MN \cdot PQ = 2\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$. Выразим x_1, y_1 через x, y , используя взаимную перпендикулярность векторов OM и OP . Их скалярное произведение равно нулю: $xx_1 + yy_1 = 0 \Rightarrow y^2y_1^2 = x^2x_1^2$.

Так как $y_1^2 = b^2(1 - \frac{x_1^2}{a^2})$, то $x_1^2 = \frac{b^2y^2}{x^2 + \frac{b^2y^2}{a^2}}$. Тогда $x_1^2 + y_1^2 = \frac{a^2b^2(x^2 + y^2)}{a^2x^2 + b^2y^2}$, $S = 2ab \frac{x^2 + y^2}{\sqrt{a^2x^2 + b^2y^2}}$.

Подставляя сюда $y^2 = b^2(1 - \frac{x^2}{a^2})$, получим площадь как функцию одной переменной $x \in [0, a]$

$$S = 2b \frac{(a^2 - b^2)x^2 + a^2b^2}{\sqrt{(a^2 - b^2)x^2 + a^2b^4}}$$

Исследуем эту функцию на экстремум по стандартной методике, зная, что экстремумы достигаются на концах отрезка или в его внутренних стационарных точках.

Найдем производную. Опуская детали, укажем промежуточный результат:

$$S' = \frac{2b(a^2 - b^2)x}{\sqrt{(a^4 - b^4)x^2 + a^2b^4}} \cdot R,$$

Где $R = 2[(a^4 - b^4)x^2 + a^2b^4] - [(a^4 - b^4)x^2 + a^2b^2(a^2 + b^2)]$.

Стационарная точка $x=0$ лежит на границе отрезка, точка $x = \frac{ab}{\sqrt{a^2+b^2}}$ – нуль функции R – является внутренней.

$$\text{Имеем } S(0) = S(a) = 2ab, S\left(\frac{ab}{\sqrt{a^2+b^2}}\right) = \frac{4a^2b^2}{a^2+b^2}.$$

Но первая величина – это площадь главного ромба, вторая является площадью квадрата, вписанного в эллипс.

Решение задачи 2. На рис. 2 точка C лежит правее вершины A и проведена касательная CD к дуге AB .

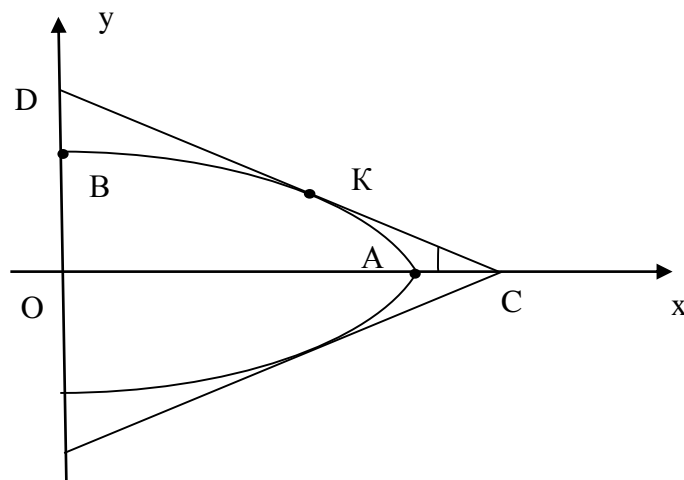


Рис. 2

Пусть α – абсцисса точки C , β – ордината точки D и t – половина угла, под которым виден эллипс из точки C . На рис. 2 этот угол помечен дугой. Тогда $\beta = atgt$ и система уравнений

$$\begin{cases} \frac{x}{\alpha} + \frac{y}{atgt} = 1 \\ \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \end{cases}$$

имеет единственное решение (x_0, y_0) , где x_0, y_0 – это координаты точки касания K . Найдем $y = atgt(1 - \frac{x}{\alpha})$ из первого уравнения системы, подставим его во второе. Получим квадратное уравнение

$$\left(\frac{1}{a^2} + \frac{tg^2t}{b^2}\right)x^2 - 2\alpha\frac{tg^2t}{b^2}x + \left(\frac{\alpha^2tg^2t}{b^2} - 1\right) = 0.$$

Потребуем, чтобы его дискриминант был равен нулю:

$$\frac{4\alpha^2tg^4t}{b^4} - 4\left(\frac{1}{a^2} + \frac{tg^2t}{b^2}\right)\left(\frac{\alpha^2tg^2t}{b^2} - 1\right) = 0.$$

Отсюда найдем, что $atgt = \sqrt{a^2tg^2t + b^2}$. Площадь описанного ромба $S = \frac{1}{2} \cdot 2OC \cdot 2OD$ станет функцией угла $t \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right)$:

$$S = 2\frac{a^2tg^2t + b^2}{tgt} = 2\left(a^2tgt + \frac{b^2}{tgt}\right).$$

В стационарной точке $t_0 = arctg\frac{b}{a}$ функция S имеет минимум, равный $4ab$. При этом абсцисса точки C

$$\alpha = \frac{\sqrt{a^2tg^2t_0 + b^2}}{tgt_0} = a\sqrt{2}.$$

При таком удалении от центра эллипса касательная к дуге AB идет параллельно хорде AB .

Площадь описанного квадрата получается при $t = \frac{\pi}{4}$, она равна $2(a^2 + b^2)$, что больше $4ab$.

В нашей работе [3] читатель найдет много интересных прикладных задач на экстремум, которые будут интересны учащимся школ и классов математического профиля.

Литература

- 1) Болтынский В.Г., Яглом И. М. Геометрические задачи на максимум и минимум// Энциклопедия элементарной математики: Книга V. – М.: Наука, 1966. – С. 270-348
- 2) Васильев Б.Н., Гутенмахер В.Л. Прямые и кривые. – М.: Наука, 1978. – 160 с.

- 3) Далингер В.А., Симонженков С.Д. Сборник прикладных задач на экстремум: учебное пособие для учащихся школ и классов математического профиля.– Омск: ООО ИПЦ «Сфера», 2007.– 60 с.
- 4) Тихомиров В.М. Рассказы о максимумах и минимумах.– М.: Наука, 1986.– 192с.

DISCRETE PLAYING OF PERSECUTION WITH LEVEL OF BRIGHTNESS OF DIGITAL IMAGE DESCRIBED BY SECOND ORDER EQUATIONS

Mamatov M. Sh.

*National University of Uzbekistan named after M. Ulugbek,
Tashkent 100174, Uzbekistan,*

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.8](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.8)

ABSTRACT.

The work is devoted to the study of a class of discrete pursuit games with a digital image level, which is described by systems of second-order equations. Sufficient conditions are obtained for the possibility of completing the pursuit in discrete games with boundary conditions. When solving the problem of pursuit with the level of a digital image, Chebyshev polynomials of the second kind are used.

Keywords: pursuit, pursuit, evader, terminal set, pursuit control, runaway control

1. INTRODUCTION

The approach of applying a two-dimensional second derivative in the tasks of improving the brightness of a digital image is reduced to the choice of a discrete formulation of the second derivative and to the subsequent construction of a filter mask based on this formulation. Isotropic filters are considered, the response of which does not depend on the direction of inhomogeneities in the image being processed. In other words, isotropic filters are invariant to rotate, in the sense that rotating the image and then applying the filter produces the same result as the initial application of the filter and then rotating the result.

The simplest isotropic operator based on derivatives is the Laplacian (the Laplace operator), which in the case of a function of two variables, is defined as

$$\nabla^2 z = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}. \quad (1)$$

Since derivatives of any order are linear operators, then the Laplacian is also a linear operator.

To apply this equation in digital image processing, it must be expressed in a discrete form. There are several ways to set the Laplacian in discrete form based on the values of the neighboring pixels. The following definition of a discrete second derivative is one of the most commonly used formulas. Taking into account that there are two

variables and notation $z(\mathbf{X}, \mathbf{y})|_{(x_i, y_j)} = z(x_i, y_j) = z_{i,j}$, for the partial second derivative with respect to \mathbf{X}

, we get

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \Big|_{(x_i, y_j)} = z(x_{i+1}, y_j) - 2z(x_i, y_j) + z(x_{i-1}, y_j) = z_{i+1,j} - 2z_{i,j} + z_{i-1,j}$$

and, similarly for the partial second derivative \mathbf{y} , we get

$$\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \Big|_{(x_i, y_j)} = z(x_i, y_{j+1}) - 2z(x_i, y_j) + z(x_i, y_{j-1}) = z_{i,j+1} - 2z_{i,j} + z_{i,j-1}.$$

The discrete formulation of the two-dimensional Laplacian given by (1) is obtained by combining these two components

$$\begin{aligned} \nabla^2 z \Big|_{(x_i, y_j)} &= -4z(x_i, y_j) + \left[z(x_{i+1}, y_j) + z(x_{i-1}, y_j) + z(x_i, y_{j+1}) + z(x_i, y_{j-1}) \right] = \\ &= -4z_{i,j} + z_{i-1,j} + z_{i+1,j} + z_{i,j-1} + z_{i,j+1}. \end{aligned}$$

So, as the Laplace operator is essentially the second derivative, its use underlines the discontinuity of the brightness levels in the image and suppresses areas with weak changes in brightness. This results in an image containing grayish lines at the site of contours and other gaps superimposed on a dark background without features. But the background can be “restored”, while maintaining the effect of sharpening achieved by the Laplacian. To do this, simply add the original image and the Laplacian. It should be remembered which of the definitions of the Laplacian was used. If a definition using negative central coefficients was used, then obtaining the effect of increasing the sharpness, the Laplacian image should be subtracted, not added. Thus, the generalized algorithm of using the Laplacian for image enhancement is as follows.

$$g(x_i, y_j) = \begin{cases} z(x_i, y_j) - \nabla^2 z(x_i, y_j), & \text{если } w(0,0) < 0, \\ z(x_i, y_j) + \nabla^2 z(x_i, y_j), & \text{если } w(0,0) \geq 0. \end{cases}$$

Where $g(x, y)$ - processed image, $z(x, y)$ - input image, $w(0,0)$ - value of the central coefficient of the Laplacian mask. Hence it is clear that in order to improve the image as already noted, we must change the drive Laplacian

$$\nabla^2 z(x_i, y_j) = -4z_{i,j} + z_{i-1,j} + z_{i+1,j} + z_{i,j-1} + z_{i,j+1}.$$

Given the presence of noise, we obtain a model example of discrete games, the process of pursuing the equations described (show. [1] - [3])

$$\begin{aligned} -4z_{i,j} + z_{i-1,j} + z_{i+1,j} + z_{i,j-1} + z_{i,j+1} &= -u_{i,j} + v_{i,j}, |u_{i,j}| \leq \rho, |v_{i,j}| \leq \sigma, \sigma < \rho, \\ z_{0,j} = 0, z_{m+1,j} = 0, z_{i,0} = 0, z_{i,\theta} = 0, & (*) \\ i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, \theta - 1, \end{aligned}$$

where the left side of the equation is a discrete analog of Laplacian $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$ image brightness functions

$z = z(x, y)$, a $z_{i,j}$ – image brightness at a point, (x_i, y_j) т.е. $z_{i,j}$ – the value of the brightness levels of the image of the corresponding pixels (i, j) , $u_{i,j}, v_{i,j}$ – control parameters. Without loss of generality, it is convenient to assume that if either $i = 0$, either $i = m + 1$, either $j = 0$, either $j = \theta$, that $z_{i,j} = 0$, those the image is bordered by pixels with zero brightness levels. Harassment is considered complete if $z_{i,j}$ satisfy the condition: $\delta \leq z_{i,j} \leq \delta + \varepsilon, i_0 \leq i \leq i_1, j_0 \leq j \leq j_1$ где $1 \leq i_0, i_1 \leq m, 1 \leq j_0, j_1 \leq \theta - 1$ for some preset $\delta > 0, \varepsilon > 0$. This means that $z_{i,j}$ the value of the brightness levels of the image in the predetermined pixels was in a certain segment. Using boundary conditions, when $i = 1, 2, \dots, m$ from (*) get the system

$$\begin{aligned} -4z_{1,j} + z_{0,j} + z_{2,j} + z_{1,j-1} + z_{1,j+1} &= -u_{1,j} + v_{1,j}, \\ -4z_{2,j} + z_{1,j} + z_{3,j} + z_{2,j-1} + z_{2,j+1} &= -u_{2,j} + v_{2,j}, \\ -4z_{i,j} + z_{i-1,j} + z_{i+1,j} + z_{i,j-1} + z_{i,j+1} &= -u_{i,j} + v_{i,j}, \\ -4z_{m-1,j} + z_{m-2,j} + z_{m,j} + z_{m-1,j-1} + z_{m-1,j+1} &= -u_{m-1,j} + v_{m-1,j}, \\ -4z_{m,j} + z_{m-1,j} + z_{m+1,j} + z_{m,j-1} + z_{m,j+1} &= -u_{m,j} + v_{m,j}. \end{aligned}$$

Denoting,

$$z_j = (z_{1,j}, z_{2,j}, \dots, z_{m,j})^T, u_j = (u_{1,j}, u_{2,j}, \dots, u_{m,j})^T, v_j = (v_{1,j}, v_{2,j}, \dots, v_{m,j})^T$$

we have

$$\begin{aligned} -z_{j-1} + Cz_j - z_{j+1} &= u_j - v_j, 1 \leq j \leq \theta - 1, \\ z_0 = 0, z_\theta &= 0, \end{aligned} (**)$$

where $z_j \in R^m$ и u_j – pursuer control parameter; v_j – escape player control parameter: $u_j \in R^m, v_j \in R^m$ components that satisfies the condition, $|u_{i,j}| \leq \rho, |v_{i,j}| \leq \sigma, \sigma < \rho$, and C – Jacobi square - three-diagonal matrix [2]

$$C = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 1 & 4 \end{pmatrix}.$$

$M \subset R^m$ the terminal set that the game ends.

The tasks of pursuit and escape for various classes of differential and discrete games are the subject of numerous studies [4–16]. General questions of the theory of discrete games are considered in monographs [4], [5]. In [6], discrete differential games with information lag were studied, in [7] - [10], the relationship between differential games with distributed parameters and discrete ones was studied. The pursuit and escape problems for linear discrete games were studied in [11] - [14], the escape problem for nonlinear discrete games was studied in [15], [16]. In these papers, the motion of points is described by discrete first-order equations.

The purpose of this work is to study a new class of game problems with discrete second-order equations. For this class of discrete games, sufficient conditions are obtained for the possibility of completing the pursuit when the position of the object is given in the boundary moments. To solve this problem, Chebyshev polynomials of the second kind are used [2], [3].

2. PROBLEM STATEMENT

Instead of the game (**), we will consider a more general discrete game, which is point motion z m -dimensional Euclidean space R^m described by equations

$$-z_{j-1} + Cz_j - z_{j+1} = u_j - v_j, 1 \leq j \leq \theta - 1, \quad (1)$$

$$z_0 = \phi_0, z_\theta = \phi_\theta \quad (2)$$

where j - step number, $C - m \times m$ - constant square matrix, u, v - control parameters, u - chase parameter, v - escape parameter, $u_j \in P \subset R^m, v_j \in Q \subset R^m$, P and Q - non-empty sets, parameter u selected as a sequence $u = u(\cdot) = (u_1, u_2, \dots, u_{\theta-1}), u_j \in P, j = 1, 2, \dots, \theta - 1$, parameter v - as a sequence $v = v(\cdot) = (v_1, v_2, \dots, v_{\theta-1}), v_j \in Q, j = 1, 2, \dots, \theta - 1$. In addition, in R^m allocated terminal set M .

Purpose of the pursuing player z_j on the set M , fleeing player tends to put it.

Definition. We will say that in the game (1), (2) from the "boundary" position $(\bar{\varphi}_0, \bar{\varphi}_\theta)$ can complete the persecution for $N \leq \theta$ steps, if in any order $\bar{v}_1, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_{N-1}$ escape control can build such a sequence $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_{N-1}$ prosecution management, what's the solution $z = z(\cdot) = (z_0, \bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_{N-1}, z_N)$ the equations

$$-z_{j-1} + Cz_j - z_{j+1} = \bar{u}_j - \bar{v}_j, 1 \leq j \leq N - 1,$$

$$z_0 = \bar{\varphi}_0, z_\theta = \bar{\varphi}_\theta,$$

with some $d \leq N$ hits on $M : \bar{z}_d \in M$.

Let a discrete game be described by equations (1), (2). Through $U_n(x)$ denote the Chebyshev polynomial of the second kind of degree n :

$$U_n(x) = \begin{cases} \frac{\sin(n+1) \arccos x}{\sin \arccos x}, & |x| \leq 1 \\ \frac{1}{2\sqrt{x^2-1}} \left[\left(x + \sqrt{x^2-1}\right)^{n+1} - \left(x - \sqrt{x^2-1}\right)^{-(n+1)} \right], & |x| > 1. \end{cases} \quad (3)$$

From here you can easily get the following: $U_{-2}(x) = -1$, $U_{-1}(x) = 0$, $U_0(x) = 1$, $U_1(x) = 2x$, etc. In the monographs [2], [3] there are the following recurrence relations

$$\begin{aligned} U_{n+2}(x) &= 2xU_{n+1}(x) - U_n(x), \quad n \geq 0, \\ U_0(x) &= 1, \quad U_1(x) = 2x. \end{aligned} \quad (4)$$

Further we denote by $U_n(x)$ Chebyshev matrix polynomial from a matrix X , determined by the recurrence formulas (4). From here from (3), (4) we get: $U_{-2}(X) = E$, $U_{-1}(X) = \bar{0}$, $U_0(X) = E$, $U_1(X) = 2X$, where E – single, and $\bar{0}$ – zero matrix. Let be $\bar{u} = \bar{u}(j) = \bar{u}_j$, $\bar{v} = \bar{v}(j) = \bar{v}_j$, $1 \leq j \leq N$ – preset controls.

If matrix C such that $U_{\theta-1}(\frac{1}{2}C)$ non-degenerate matrix, then solutions of equation (1) with boundary conditions $z_0 = \bar{\phi}_0$, $z_\theta = \bar{\phi}_\theta$ determined by the formula (see [2], chap. I, § 4, equation (46))

$$z_n = U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{\theta-n-1}\left(\frac{1}{2}C\right)\left[z_0 + \sum_{k=1}^{n-1}U_{k-1}\left(\frac{1}{2}C\right)(u_k - v_k)\right] + U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{n-1}\left(\frac{1}{2}C\right)\left[z_\theta + \sum_{k=n}^{\theta-1}U_{\theta-k-1}\left(\frac{1}{2}C\right)(u_k - v_k)\right]. \tag{5}$$

3. FORMULATION OF KEY RESULTS

Assumption 1. $M = M_0 + M_1$, where M_0 – linear subspace R^m ; M_1 – subset of subspace L – orthogonal complement M_0 in R^m . Through Π denote the operation of the orthogonal projection of R^m to L , and through $A+B$ and A^*B – algebraic sum and geometric difference of sets, respectively [17]. Let be $M_{1,1} + M_{1,2} = M_1$ and

$$W_{1,1}(n) = \sum_{k=1}^{n-1} \Pi U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{\theta-n-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{k-1}\left(\frac{1}{2}C\right)(P^*Q) - M_{1,1};$$

$$W_{1,2}(n) = \sum_{k=n}^{\theta-1} \Pi U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{n-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{\theta-k-1}\left(\frac{1}{2}C\right)(P^*Q) - M_{1,2}, \tag{6}$$

In here $U_n\left(\frac{1}{2}C\right)$ – Chebyshev matrix polynomial.

Assumption 2. Let there be such $n = n_0 \leq \theta - 1$, that

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{\theta-n_0-1}\left(\frac{1}{2}C\right)z_0 \right] \in W_{1,1}(n_0)$$

and

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{n_0-1}\left(\frac{1}{2}C\right)z_\theta \right] \in W_{1,2}(n_0). \tag{7}$$

Theorem 1. If assumptions 1, 2 are fulfilled, then in the game (1), (2) from the “boundary” position (z_0, z_θ) may complete the pursuit of $N(z_0, z_\theta) \leq n_0$ steps. Let be $1 \leq n \leq \theta - 1$, $W_{2,1}(0) = -M_{1,1}$, $W_{2,2} = -M_{1,2}$,

$$W_{2,1}(n) = \bigcap_{v(k) \in Q} \left[W_{2,1}(n-1) + \Pi U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{\theta-n-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{k-1}\left(\frac{1}{2}C\right)(P - v(k)) \right],$$

$$1 \leq k \leq n-1,$$

$$W_{2,2}(n) = \bigcap_{v(k) \in Q} \left[W_{2,2}(n-1) + \Pi U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{n-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{\theta-k-1}\left(\frac{1}{2}C\right)(P - v(k)) \right],$$

$$n \leq k \leq \theta - 1. \tag{8}$$

Assumption 3. Let there be such $n = n_0 \leq \theta - 1$, that

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1}\left(\frac{1}{2}C\right)U_{\theta-n_0-1}\left(\frac{1}{2}C\right)z_0 \right] \in W_{2,1}(n_0)$$

and

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] \in W_{2,2}(n_0). \quad (9)$$

Theorem 2. If assumptions 3 are fulfilled, then in the game (1), (2) from the “boundary” position (z_0, z_θ) may complete the pursuit of $N(z_0, z_\theta) \leq n_0$ steps.

$$\begin{aligned} \text{Пусть } \alpha_n(\cdot) &= \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n-1} : \alpha_k \geq 0, \sum_{k=1}^{n-1} \alpha(k) = 1 \}, \\ \beta_n(\cdot) &= \{ \beta_n, \beta_{n+1}, \dots, \beta_{\theta-1} : \beta_k \geq 0, \sum_{k=n}^{\theta-1} \beta(k) = 1 \} \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} W_1(\alpha_n(\cdot)) &= \sum_{k=1}^{n-1} \left[\left(\alpha_k M_{1,1} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P \right)^* \right. \\ &\quad \left. {}^* \Pi U_{\theta-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \right], \\ W_2(\beta_n(\cdot)) &= \sum_{k=n}^{\theta-1} \left[\left(\beta_k M_{1,2} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P \right)^* \right. \\ &\quad \left. {}^* \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \right]. \end{aligned}$$

Set

$$\begin{aligned} W_{3,1}(0) &= M_{1,1}, \quad W_{3,1}(n) = U_{\alpha_k(\cdot)} W_1(\alpha_k(\cdot)), \quad 1 \leq k \leq n-1, \\ W_{3,2}(0) &= M_{1,2}, \quad W_{3,2}(n) = U_{\beta_k(\cdot)} W_1(\beta_k(\cdot)), \quad 1 \leq k \leq \theta-1. \end{aligned} \quad (10)$$

Assumption 4. Let there be what $n = n_0 \leq \theta - 1$, what

$$\begin{aligned} -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] &\in W_{3,1}(n_0), \\ -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] &\in W_{3,1}(n_0). \end{aligned} \quad (11)$$

Theorem 3. If assumptions 4 are fulfilled, then in the game (1), (2) from the “boundary” position (z_0, z_θ) may complete the pursuit of $N(z_0, z_\theta) \leq n_0$ steps.

4. CONCLUSION

Summarizing the obtained results, we conclude that the discrete pursuit game (1), starting from the “boundary” position (2) $z_r|_{r \in I} = \phi_r$, can be finished for $N(z_0, z_\theta) \leq n_0$ steps. Thus, to solve the game problem of pursuit of the form (1), (2), we used the Chebyshev polynomials of the second kind of the form (3) and the recurrent relation (4), the formula (5). The set (6) is a discrete analogue of the so-called first integral of L. S. Pontryagin [17], the inclusion of (7) gives the first sufficient conditions for the possibility of completing the pursuit of the task. The set (8) is a discrete analog of the second integral of L. S. Pontryagin, the inclusion of (9) gives the second sufficient conditions for the possibility of completing the pursuit of the task. Set (10) is a discrete analogue of the third method of N. Yu. Satimov [14], and the inclusion of (11) gives the third sufficient conditions for the possibility of completing the game. In Theorems 1-3, sufficient conditions are obtained for solving the corresponding problems in this form. It should be noted that many problems of mathematical physics can be approximated using problem (1), (2).

ATTACHMENT

Proof of Theorem 1. From (6) and (7) it follows that *such*

$$a(k) \in \begin{cases} \bigcap_{v(k) \in Q} \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (P - v(k)), & 1 \leq k \leq n_0 - 1, \\ \bigcap_{v(k) \in Q} \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (P - v(k)), & n_0 \leq k \leq \theta - 1, \end{cases}$$

$$b_1 \in M_{1,1}, b_2 \in M_{1,2},$$

that

$$\begin{aligned} -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] &= \sum_{k=1}^{n_0-1} a(k) - b_1, \\ -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] &= \sum_{k=n_0}^{\theta-1} a(k) - b_2. \end{aligned} \tag{12}$$

Let be $v = \bar{v}(k)$, $1 \leq k \leq \theta - 1$ – arbitrary admissible control of the evader; pursuing player management $u = \bar{u}(k)$ let's build as a solution to the following equation

$$a(k) = \begin{cases} \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}(k) - \bar{v}(k)), & 1 \leq k \leq n_0 - 1; \\ \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}(k) - \bar{v}(k)). \end{cases} \tag{13}$$

It is clear that these equations have optional solutions $a(k)$, because $\bar{v}(k) \in Q$ and $\bar{u}(k) \in P$. Substituting $v = \bar{v}_k = \bar{v}(k)$ and $u = \bar{u}_k = \bar{u}(k)$ in (1) and applying the formula (5), will get

$$\begin{aligned} z(n_0) &= U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \left[z_0 + \sum_{k=1}^{n_0-1} U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}_k - \bar{v}_k) \right] + \\ &+ U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \left[z_0 + \sum_{k=n_0}^{\theta-1} U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}_k - \bar{v}_k) \right]. \end{aligned}$$

Hence, applying to both sides of the equality the design projection operator and from equality (12), (13), we have

$$\begin{aligned} \Pi z(n_0) &= \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 + \sum_{k=1}^{n_0-1} U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot \right. \\ &\cdot U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}_k - \bar{v}_k) \left. \right] + \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta + \right. \\ &+ \sum_{k=n_0}^{\theta-1} U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}_k - \bar{v}_k) \left. \right] = \\ &= \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] + \sum_{k=1}^{n_0-1} a(k) + \\ &+ \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] + \sum_{k=n_0}^{\theta-1} a(k) = \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] - \\ &- \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] + b_1 + \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] - \end{aligned}$$

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] + b_2 = b_1 + b_2 \in M_{1,1} + M_{1,2} = M_1.$$

From this inclusion we get that $\Pi z(n_0) \in M_1$ and, means, $z(n_0) \in M$. Q.E.D.

Proof of Theorem 2. By the condition of the theorem and from (8), (9) there are such vectors

$$a(k) \in \begin{cases} \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (P - \nu(k)), & 1 \leq k \leq n_0 - 1, \\ \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (P - \nu(k)), & n_0 \leq k \leq \theta - 1, \end{cases}$$

and $b_1 \in M_{1,1}$, $b_2 \in M_{1,2}$, that

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] \in W_{2,1}(n) + a(n_0 - 1) + a(n_0 - 2) + \dots + a(n), \\ 1 \leq n \leq n_0 - 1,$$

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] \in W_{2,2}(n) + a(\theta - 1) + a(\theta - 2) + \dots + a(n), n_0 \leq n \leq \theta - 1.$$

From here we get that

$$\begin{aligned} -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] &= \sum_{k=1}^{n_0-1} a(k) - b_1, \\ -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] &= \sum_{k=n_0}^{\theta-1} a(k) - b_2. \end{aligned} \quad (14)$$

Now let $\nu = \bar{\nu}_k = \bar{\nu}(k)$, $1 \leq k \leq \theta - 1$ – arbitrary admissible control of the evader; control of the pursuing player $u = \bar{u}_k = \bar{u}(k)$, $\bar{u}(k) \in P$ are constructed as solutions of the following equation

$$a(k) = \begin{cases} \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}(k) - \bar{\nu}(k)), & 1 \leq k \leq n_0 - 1, \\ \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}(k) - \nu(k)), & n_0 \leq k \leq \theta - 1. \end{cases} \quad (15)$$

Substituting $u = \bar{u}_k = \bar{u}(k)$, $\nu = \bar{\nu}_k = \bar{\nu}(k)$ in (1), (2), considering (14), (15) and simultaneously applying formula (5) and the design operator, we have

$$\begin{aligned} \Pi z(n_0) &= \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 + \sum_{k=1}^{n_0-1} U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot \right. \\ &\quad \left. U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}_k - \bar{\nu}_k) \right] + \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{k=n_0}^{\theta-1} U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) (\bar{u}_k - \bar{\nu}_k) \right] = \\ &= \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] + \sum_{k=1}^{n_0-1} a(k) + \\ &+ \Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] + \sum_{k=n_0}^{\theta-1} a(k) = b_1 + b_2 \in M_{1,1} + M_{1,2} = M_1. \end{aligned}$$

From here we get that $z(n_0) \in M$. Theorem 2 is proved.

Proof of Theorem 3. Instead of inclusion (11), bearing in mind (10), we consider the equivalent inclusion

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] \in W_1(\bar{\alpha}_{n_0}(\cdot)),$$

$$-\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] \in W_1(\bar{\beta}_{n_0}(\cdot)),$$

existence $\bar{\alpha}_{n_0}(\cdot) = \{\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \dots, \bar{\alpha}_{n_0-1}\}$, $\bar{\beta}_{n_0}(\cdot) = \{\bar{\beta}_{n_0}, \bar{\beta}_{n_0+1}, \dots, \bar{\beta}_{\theta-1}\}$ follows from (11).

From here we get

$$\begin{aligned} -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] &\in \sum_{k=1}^{n_0-2} \left[\bar{\alpha}_k M_{1,1} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \times \right. \\ &\times U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P^* \Pi U_{\theta-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \left. \right] + \\ &+ \left(\bar{\alpha}_{n_0-1} M_1 + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-2} \left(\frac{1}{2} C \right) P \right)^* \\ &\quad \cdot \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot U_{n_0-2} \left(\frac{1}{2} C \right) Q, \end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned} -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] &\in \sum_{k=n_0+1}^{\theta-1} \left[\bar{\beta}_k M_{1,2} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \times \right. \\ &\times U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P^* \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \left. \right] + \\ &+ \left(\bar{\beta}_{n_0} M_{1,2} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P \right)^* \\ &\quad \cdot \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q. \end{aligned}$$

Now let $\bar{v}_1, \bar{v}_2, \dots, \bar{v}_{\theta-1}, \bar{v}_k \in Q, 1 \leq k \leq \theta-1$ arbitrary sequence. By virtue of (16) there is such $\bar{\alpha}_{n_0-1}$ and $\bar{\beta}_{n_0}$ that

$$\begin{aligned} -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_0 \right] &+ \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \times \\ &\times U_{n_0-2} \left(\frac{1}{2} C \right) \bar{v}_{n_0-1} \in \sum_{k=1}^{n_0-2} \left[\bar{\alpha}_k M_{1,1} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P^* \right. \\ &\quad \cdot \Pi U_{\theta-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \left. \right] + \\ &\quad \left(+ \bar{\alpha}_{n_0-1} M_{1,1} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-2} \left(\frac{1}{2} C \right) P \right), \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned} -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_\theta \right] &+ \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \times \\ &\times \bar{v}_{n_0} \in \sum_{k=n_0+1}^{\theta-1} \left[\bar{\beta}_k M_{1,2} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P^* \right. \\ &\quad \cdot \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \left. \right] + \end{aligned}$$

$$+ \left(\bar{\beta}_{n_0} M_{1,2} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P \right).$$

Control $\bar{u}_{n_0-1} \in P$ and $\bar{u}_{n_0} \in P$ let's build as a solution to the following equation

$$\begin{aligned} & \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-2} \left(\frac{1}{2} C \right) \bar{u}_{n_0-1} + \\ & + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-2} \left(\frac{1}{2} C \right) \bar{v}_{n_0-1} = \bar{\alpha}_{n_0-1} a_1, \quad a_1 \in M_{1,1}, \\ & \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \bar{u}_{n_0} + \\ & + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \bar{v}_{n_0} = \bar{\beta}_{n_0} b_1, \quad b_1 \in M_{1,2}. \end{aligned}$$

Further, by virtue of (11) and (17) we have

$$\begin{aligned} & -\Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_1 \Big] + \sum_{k=1}^{n_0-2} \left[\bar{\alpha}_k M_{1,1} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot \right. \\ & \cdot U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P^* \Pi U_{\theta-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \Big] + \bar{\alpha}_{n_0-1} a_1, \\ & -\Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_{\theta-1} \Big] + \sum_{k=n_0+1}^{\theta-1} \left[\bar{\beta}_k M_{1,2} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot \right. \\ & \cdot U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P^* \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \Big] + \bar{\beta}_{n_0} b_1. \end{aligned}$$

Similarly, if control $\bar{v}_{n_0-2}, \bar{v}_{n_0+1}$ becomes known, then the above described method can be constructed to control $\bar{u}_{n_0-2}, \bar{u}_{n_0+1}$, providing inclusion

$$\begin{aligned} & -\Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_2 \Big] \in \sum_{k=1}^{n_0-3} \left[\bar{\alpha}_k M_{1,1} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot \right. \\ & \cdot U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P^* \Pi U_{\theta-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \Big] + \\ & \quad + \bar{\alpha}_{n_0-1} a_1 + \bar{\alpha}_{n_0-2} a_2, \quad a_2 \in M_{1,1}, \\ & -\Pi \left[U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) z_{\theta-2} \Big] \in \sum_{k=n_0+1}^{\theta-1} \left[\bar{\beta}_k M_{1,2} + \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) \cdot \right. \\ & \cdot U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) P^* \Pi U_{\theta-1}^{-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{n_0-1} \left(\frac{1}{2} C \right) U_{\theta-k-1} \left(\frac{1}{2} C \right) Q \Big] + \\ & \quad + \bar{\beta}_{n_0} b_1 + \bar{\beta}_{n_0+1} b_2, \quad b_2 \in M_{1,2}, \end{aligned}$$

etc. so get

$$\begin{aligned} \Pi z_{n_0} & = \left(\bar{\alpha}_{n_0-1} a_1 + \bar{\alpha}_{n_0-2} a_2 + \dots + \bar{\alpha}_1 a_{n_0} \right) + \left(\bar{\beta}_{n_0} b_1 + \bar{\beta}_{n_0+1} b_2 + \dots + \bar{\beta}_{n_0+\theta-1} b_{\theta-1} \right) \in \\ & \in \left(\bar{\alpha}_{n_0-1} + \bar{\alpha}_{n_0-2} + \dots + \bar{\alpha}_1 \right) M_{1,1} + \left(\bar{\beta}_{n_0} + \bar{\beta}_{n_0+1} + \dots + \bar{\beta}_{n_0+\theta-1} \right) M_{1,2} = M_{1,1} + M_{1,2} = M_1, \end{aligned}$$

from here we have

$$z_{n_0} \in M.$$

The theorem is proven completely. **Comment.** If in (*) the game is considered finished when the average value

$$z_{i,j}, i_0 \leq i \leq i_1, j_0 \leq j \leq j_1 : z = \frac{1}{\lambda\mu} \sum_{i_0}^{i_1=\lambda} \sum_{j_0}^{j_1=\mu} z_{i,j}, 1 \leq i_0, i_1 \leq m, 1 \leq j_0, j_1 \leq \theta - 1$$

satisfies the condition $\delta \leq z \leq \delta + \varepsilon$. Then a corresponding change can easily generalize Theorems 1-3.

Bibliography

- [1] Godunov S.K., Ryabenky V.S. Difference schemes. - M.: Science, 1977, 440 p.
- [2] Samara A.A., Nikolaev E.S. Methods for solving grid equations. - M.: Science, 1978, 570 p.
- [3] Pashkovsky S. Computational applications of polynomials and Chebyshev series. - M.: Science, 1983, 487 p.
- [4] Isaacs R. Differential games. - M.: Mir, 1967, 500 p.
- [5] Azamov A.A. Foundations of the theory of discrete games. - Tashkent.: Niso Poligraf, 2011, 160 p.
- [6] Dzyubenko G.Ts., Pshenichny B.N. Discrete differential games with information lag // Cybernetics, 1972, №6, p.65-71.
- [7] Mamatov M.Sh. On the theory of differential games of pursuit in systems with distributed parameters // Automation and Computer Sciences, 2009, № 1, p. 5-14.
- [8] Mamatov M.Sh. On the application of the finite difference method to solving the problem of pursuit in systems with distributed parameters // Automation and Remote Control, 2009, № 8, p.123-132.
- [9] Mamatov M.Sh., Alimov Kh.N. On solving the problem of pursuit in high-order controlled distributed systems // Mathematical works, 2013, v.16, №2, p.1-16.
- [10] Mamatov M.Sh., Tukhtasinov M. About the pursuit problem in distributed controlled systems // Cybernetics and Systems Analysis, 2009, V. 45, No. 2, p. 153-158.
- [11] Chikriy A.A. On linear discrete quality games // Cybernetics. - Kiev. 1971. - № 5. - С. 90-99.
- [12] Chikriy A.A., Chikriy G.Ts. On awareness in discrete game problems // Cybernetics, 1979, № 5, p. 126-128.
- [13] Fazylov A.Z. The existence of the nucleus of a convex set in linear discrete control systems // Mathematical Notes, 1995, vol.58, №1, p.119-126.
- [14] Satimov N. Yu. On two methods of pursuit in linear discrete games // DAN Uz SSR, 1979, No. 11, p. 3-4.
- [15] Satimov N. Yu. The problem of runaway for one class of nonlinear discrete games // Techn. Cybern. Izv. Academy of Sciences of the USSR, 1973, v. 9, No. 6, p.45-48.
- [16] Satimov N. Yu., Azamov A.A. Nonlinear discrete games of runaway // Cybernetics, 1976, №4, pp.79-74.
- [17] Pontryagin L.S. Linear differential pursuit games // Mat. Collection, 1980, Vol. 112, No. 3, p. 307-330.

DISCRETE PLAYING OF PERSECUTION WITH LEVEL OF BRIGHTNESS OF DIGITAL IMAGE DESCRIBED BY SECOND ORDER EQUATIONS

Mamatov M.Sh.

The work is devoted to the study of a class of discrete pursuit games with a digital image level, which is described by systems of second-order equations. Sufficient conditions are obtained for the possibility of completing the pursuit in discrete games with boundary conditions. When solving the problem of pursuit with the level of a digital image, Chebyshev polynomials of the second kind are used.

Keywords: pursuit, pursuer, evader, terminal set, pursuit control, evasion control

УДК 519.854.3

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРИБЛИЖЁННОГО РЕШЕНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ЧАСТИЧНО-ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

*Мамедов Князь Шираслан¹,
Мамедли Низяр Октай²*

¹Доктор физико-математических наук, профессор
Бакинского Государственного Университета и

¹Зав.лаб. Института Системных Управлений,

²Докторант Института Системных Управлений

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.2](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.2)

АННОТАЦИЯ.

В работе разработан новый подход для построения субоптимистического и субпессимистического решений интервальной задачи частично-целочисленного программирования. Этот подход основан на понятии нелинейно-возрастающего штрафа. Исходя из этого, разработаны два метода для построения решений. Эти методы запрограммированы и проведён ряд вычислительных экспериментов. Проведённые эксперименты ещё раз подтверждали высокую эффективность разработанных методов.

ABSTRACT.

In this article, a new approach to construct suboptimistic and subpessimistic solutions of an interval problem of mixed-integer programming is developed. This approach is based on a concept of nonlinearly increasing penalty. On this basis, two methods for constructing solutions are developed. The programs of methods were compiled, and a number of numerical experiments were carried out on problems of sufficiently large dimension. Conducted experiments confirmed high efficiency of proposed methods.

Ключевые слова: интервальная задача частично-целочисленного программирования, нелинейно-возрастающий штраф, допустимое, оптимистическое, пессимистическое, субоптимистическое и субпессимистическое решения, вычислительные эксперименты, погрешности.

Keywords: an interval problem of mixed-integer programming, a nonlinearly-increasing penalty, an admissible solution, optimistic, pessimistic, suboptimistic and subpessimistic solutions, computational experiments, errors.

1. Введение. Рассмотрим следующую интервальную задачу частично-целочисленного программирования:

$$\sum_{j=1}^n [\underline{c}_j, \bar{c}_j] x_j + \sum_{j=n+1}^N [\underline{c}_j, \bar{c}_j] x_j \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}] x_j + \sum_{j=n+1}^N [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}] x_j \leq [\underline{b}_i, \bar{b}_i], \quad (i = \overline{1, m}), \quad (2)$$

$$0 \leq x_j \leq d_j, \quad (j = \overline{1, N}), \quad (3)$$

$$x_j, \text{ целые, } (j = \overline{1, n}), \quad (n \leq N). \quad (4)$$

Здесь предполагается, что $0 < \underline{c}_j \leq \bar{c}_j$, $0 \leq \underline{a}_{ij} \leq \bar{a}_{ij}$, $0 < \underline{b}_i \leq \bar{b}_i$, $d_j > 0$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, N})$ заданные целые числа.

Прежде всего отметим, что задача (1)-(4) является обобщением следующих задач: задач линейного программирования, интервальной задачи линейного программирования, задач Булевого программирования, интервальной задачи Булевого программирования, задачи частично-Булевого программирования, интервальной задачи частично-Булевого программирования, целочисленного программирования, интервальной задачи целочисленного программирования, задач о ранце, целочисленной задачи о ранце и интервальной задачи целочисленной задачи о ранце. Необходимо заметить, что все перечисленные задачи, кроме задач линейного программирования входят в класс NP-полных. Поэтому задача (1)-(4) также входит в класс NP-полных, т.е. трудно-решаемых. В работах [2,3,4,7] исследованы интервальные задачи целочисленного программирования. А задачи линейного программирования (нецелочисленного) рассмотрены в работах [5,6,10] и предложены специфические методы решения.

В данной работе мы рассматривали более общую задачу (1)-(4), с целью разработки методов построения приближённого решения. Для этого будем использовать понятие нелинейно-возрастающего штрафа, введенное ниже.

2. Постановка задачи. Отметим, что рассмотренная модель (1)-(4) встречается во многих областях экономики. В частности, если в некоторой области производства выпускаются N видов товар, из них n видов ($n \leq N$) штучные товары, то может иметь место модель (1)-(4).

Допустим, что в некоторой области производства для выпуска N видов товар выделен m видов ресурсов, объем которого входит в интервал $[\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m})$. При этом расходы для производства каждой единицы j -ого товара даёт прибыль, входящий в интервал $[\underline{c}_j, \bar{c}_j]$, $(j = \overline{1, N})$. При этом требуется расходы из общего объёма, входящий в интервал $[\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}]$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, N})$. В такой постановке, очевидно, что необходимо найти такой объём произведённых штучных и нештучных товаров, для которых общая прибыль была максимальной, а суммарные расходы не превышали заданных ресурсов

$[\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m})$. Очевидно, что принимая неизвестные x_j , $(j = \overline{1, N})$ удовлетворяющие условиям (3), (4), получается задача (1)-(4).

3. Теоретическое обоснование метода. Для разработки метода приближённого решения задачи (1)-(4), необходимо вести следующие определения, которые являются более общей, чем введенные в работах в [8,9]. При этом использованы принципы интервальных исчислений.

Определение 1. Вектор $X = (x_1, \dots, x_N)$ называется допустимым решением задачи (1)-(4), если для $\forall a_{ij} \in [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}]$, $\forall b_i \in [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, N})$ выполняется условия (2)-(4).

Определение 2. Оптимистическим решением задачи (1)-(4) называем такое допустимое решение $X^{op} = (x_1^{op}, x_2^{op}, \dots, x_N^{op})$, если для $\forall b_i \in [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m})$ удовлетворяется система $\sum_{j=1}^N \underline{a}_{ij} x_j^{op} \leq b_i$, $(i = \overline{1, m})$ и для этого решение функции $f^{op} = \sum_{j=1}^N \bar{c}_j x_j^{op}$ принимает максимальное значение.

Определение 3. Пессимистическим решением задачи (1)-(4) называем такое допустимое решение $X^p = (x_1^p, x_2^p, \dots, x_N^p)$, если для $\forall b_i \in [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m})$ удовлетворяется система $\sum_{j=1}^N \bar{a}_{ij} x_j^p \leq b_i$, $(i = \overline{1, m})$ и для этого решение функции $f^p = \sum_{j=1}^N \underline{c}_j x_j^p$ принимает максимальное значение.

Определение 4. Субоптимистическим (приближённым) решением задачи (1)-(4) называем такое допустимое решение $X^{so} = (x_1^{so}, x_2^{so}, \dots, x_N^{so})$, если для $\forall b_i \in [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m})$ удовлетворяется система $\sum_{j=1}^N \underline{a}_{ij} x_j^{so} \leq b_i$, $(i = \overline{1, m})$ и для этого решение функции $f^{so} = \sum_{j=1}^N \bar{c}_j x_j^{so}$ принимает большее значение.

Определение 5. Субпессимистическим (приближённым) решением задачи (1)-(4) называем такое допустимое решение $X^{sp} = (x_1^{sp}, x_2^{sp}, \dots, x_N^{sp})$, если для $\forall b_i \in [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m})$ удовлетворяется система $\sum_{j=1}^N \bar{a}_{ij} x_j^{sp} \leq b_i$, $(i = \overline{1, m})$ и для этого решение функции $f^{sp} = \sum_{j=1}^N \underline{c}_j x_j^{sp}$ принимает большее значение.

Фиксируем некоторые $b_i \in [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m})$ и после этого обе части неравенства (2) разделим на $b_i \in [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$, $(i = \overline{1, m})$. В результате получаем следующую эквивалентную задачу:

$$\sum_{j=1}^n [\underline{c}_j, \bar{c}_j] x_j + \sum_{j=n+1}^N [\underline{c}_j, \bar{c}_j] x_j \rightarrow \max \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n [\underline{\alpha}_{ij}, \bar{\alpha}_{ij}] x_j + \sum_{j=n+1}^N [\underline{\alpha}_{ij}, \bar{\alpha}_{ij}] x_j \leq 1, \quad (i = \overline{1, m}), \quad (6)$$

$$0 \leq x_j \leq d_j, \quad (j = \overline{1, N}), \quad (7)$$

$$x_j, \text{ целые, } (j = \overline{1, n}), \quad (n \leq N). \quad (8)$$

Здесь $\underline{\alpha}_{ij} = \underline{a}_{ij} / b_i$, $\bar{\alpha}_{ij} = \bar{a}_{ij} / b_i$, $0 \leq \underline{\alpha}_{ij} \leq 1$, $0 \leq \bar{\alpha}_{ij} \leq 1$, $(i = \overline{1, m}), (j = \overline{1, N})$. Поскольку задача (5)-(8) входит в класс NP-полных, нахождение оптимистического и пессимистического решений будет требовать нереальное время. Поэтому мы разработали алгоритм построения субоптимистического и субпессимистического (приближённого) решения этих задач.

В начале построения субоптимистического решения принимается $X^{so} = (x_1^{so}, x_2^{so}, \dots, x_N^{so}) = (0, 0, \dots, 0)$. Далее для различного j_* последовательно принимается положительное значение $x_{j_*}^{so}$. Нахождение номера j_* определяется ниже:

Определение 6. Число $\underline{t}_i = 1 / (1 - \underline{r}_i)$, ($i = \overline{1, m}$) назовём **штрафом** за использование оставшихся правых частей системы (3.2) для принятия очередного положительного значения x_j^{so} , ($j = \overline{1, N}$), где $\underline{r}_i = \sum_{j \in \omega} \underline{\alpha}_{ij} x_j^{so}$, ($i = \overline{1, m}$), $\omega = \{j, |x_j^{so} > 0\}$.

Из этого определения непосредственно видно, что увеличением использованных ресурсов $\underline{\alpha}_{ij}$, ($i = \overline{1, m}$), ($j = \overline{1, N}$), т.е. увеличением \underline{r}_i , ($i = \overline{1, m}$), значение штрафа \underline{t}_i , ($i = \overline{1, m}$) возрастает нелинейно, т.е. быстрее, чем по линейному закону. Уместно, заметить, что в работе [8] такой тип штрафа принят для интервальной задачи целочисленного программирования. А в данной работе эти понятия расширены для интервальной задачи частично-целочисленного программирования. Из определения штрафа \underline{t}_i , ($i = \overline{1, m}$) видно, что принятия такого типа штрафа обеспечивает меньшее использование оставшихся правых частей.

Отметим, что с целью усиления штрафа за меньшее использование меньших ресурсов можно принимать $\underline{t}_i = 1 / (1 - \underline{r}_i)^k$, ($i = \overline{1, m}$), где k - фиксированное, натуральное число. При вычислительных экспериментах выяснилось, что лучшее решения получается при $k = 1$ или $k = 2$.

Учитывая вышеуказанные, общий штраф для принятия положительного значения x_j^{so} , ($j \in I \cup R$) составляет

$$\underline{q}_j = \sum_{i=1}^N \underline{\alpha}_{ij} \underline{t}_i, \quad (j = \overline{1, N}), \quad (9)$$

где $I = \{1, 2, \dots, n\}$ и $R = \{n + 1, n + 2, \dots, N\}$.

Тогда прибыль за каждую единицу штрафа составляет $\bar{c}_j / \underline{q}_j$, ($j \in I \cup R$). Очевидно, что необходимо принимать положительные значения для такой $x_{j_*}^{so}$, который соответствует максимальному значению $\bar{c}_j / \underline{q}_j$, ($j = \overline{1, N}$). Таким образом, получаем следующий критерий выбора номера j_* :

$$j_* = \arg \max_{j \in I \cup R} \{\bar{c}_j / \underline{q}_j\} \quad (10)$$

Отметим, что построение субпессимистического решения проводится аналогично построению субоптимистического решения. При этом вместо формулы (9) и (10) принимается $\bar{q}_j = \sum_{i=1}^N \bar{\alpha}_{ij} \bar{t}_i$, ($j = \overline{1, N}$), и $j_* = \arg \max_{j \in I \cup R} \{\bar{c}_j / \bar{q}_j\}$, где $\bar{t}_i = 1 / (1 - \bar{r}_i)$, ($i = \overline{1, m}$), $\bar{r}_i = \sum_{j \in \omega} \bar{\alpha}_{ij} x_j^{sp}$, ($i = \overline{1, m}$), $\omega = \{j, |x_j^{sp} > 0\}$. В начале построения субпессимистического решения принимается $X^{sp} = (x_1^{sp}, x_2^{sp}, \dots, x_N^{sp}) = (0, 0, \dots, 0)$. Используя критерий (10), для построения приближённого (субоптимистического) решения нами разработаны два подхода:

I подход. Вначале принимаем $X^{so} = (x_1^{so}, x_2^{so}, \dots, x_N^{so}) = (0, 0, \dots, 0)$. Тогда по определению 6, $\omega = \emptyset$ и $\underline{r}_i = 0$, ($i = \overline{1, m}$). Следовательно, $\underline{t}_i = 1$, ($i = \overline{1, m}$). Тогда,

$$\underline{q}_j = \sum_{i=1}^N \underline{\alpha}_{ij} \underline{t}_i, \quad (j \in I \cup R).$$

Таким образом, по критерию (10) можно определить конкретный номер j_* . Очевидно, что необходимо учитывать 2 случая: $j_* \in I$ или $j_* \in R$.

Случай 1. Пусть $j_* \in I$. Тогда $x_{j_*}^{so}$ должен принимать только целые значения следующим образом:

$$x_{j_*}^{so} := \min \left\{ d_{j_*}, \min_i \left[\frac{1 - \underline{r}_i}{\underline{\alpha}_{ij_*}} \right] \right\}, \quad \text{где } [z] \text{ означает целую часть числа } z. \text{ Далее принимается,}$$

$$\omega := \omega \cup \{j_*\}, \quad I := I \setminus \{j_*\},$$

$$\underline{r}_i = \underline{r}_i + \sum_{j \in \omega} \underline{\alpha}_{ij} x_{j_*}^{so}, \quad (i = \overline{1, m}).$$

Если хотя бы для одного i удовлетворяется $\underline{r}_i = 1$, то процесс построения решения завершается. Иначе находим $\underline{t}_i = 1 / (1 - \underline{r}_i)$, ($i = \overline{1, m}$), и по формуле (9) вычисляем очередной \underline{q}_j , ($j \in I \cup R$). После этого по критерию (10) находится текущий номер j_* .

Случай 2. Пусть номер j_* , найденный по критерию (10) входит во множество R , т.е. $j_* \in R$. Тогда неизвестный $x_{j_*}^{so}$ будет принимать любое значение из интервала $[0, d_{j_*}]$, (не только целые). При этом значение $x_{j_*}^{so}$ определяется учитывая следующие условия:

$$x_{j_*}^{so} := \min \left\{ d_{j_*}, \min_i \left(\frac{1 - \underline{r}_i}{\underline{\alpha}_{ij_*}} \right) \right\}. \quad \text{Если } d_{j_*} < \min_i \left(\frac{1 - \underline{r}_i}{\underline{\alpha}_{ij_*}} \right), \text{ то принимаем } x_{j_*}^{so} = d_{j_*},$$

$$\omega := \omega \cup \{j_*\}, \quad R := R \setminus \{j_*\}. \quad \text{Далее, находим } \underline{r}_i = \underline{r}_i + \sum_{j \in \omega} \underline{\alpha}_{ij} x_{j_*}^{so}, \quad (i = \overline{1, m}). \quad \text{Необходимо от-}$$

метить, что если хотя бы для одного i , ($i = \overline{1, m}$), $\underline{r}_i = 1$, то процесс построения решения завершается. А в случае $\underline{r}_i < 1$, ($i = \overline{1, m}$) вычисляем $\underline{t}_i = 1 / (1 - \underline{r}_i)$, ($i = \overline{1, m}$) и по формуле (9) находим новые значения \underline{q}_j , ($j = \overline{1, N}$) и процесс построения решения продолжается.

$$\text{В случае } d_{j_*} \geq \min_i \left(\frac{1 - \underline{r}_i}{\underline{\alpha}_{ij_*}} \right), \text{ принимаем } x_{j_*}^{so} := \min_i \left(\frac{1 - \underline{r}_i}{\underline{\alpha}_{ij_*}} \right) = \left(\frac{1 - \underline{r}_{i_*}}{\underline{\alpha}_{i_* j_*}} \right). \quad \text{Очевидно, что}$$

неравенство с номером i_* из системы (6) будет выполняться как равенство. Поэтому процесс построения решений завершается.

II подход. Если $j_* \in I$, то построение субоптимистического решения выполняется согласно 1-ому случаю первого подхода а в случае $j_* \in R$, т.е. когда неизвестный $x_{j_*}^{so}$ может принимать любые значения из интервала $[0, d_{j_*}]$, значение $x_{j_*}^{so}$ определяем учитывая следующие условия: если

$$d_{j_*} < \min_i \left(\frac{1 - \underline{r}_i}{\underline{\alpha}_{ij_*}} \right), \text{ то принимаем } x_{j_*}^{so} = d_{j_*}, \quad \omega := \omega \cup \{j_*\}, \quad R := R \setminus \{j_*\}. \quad \text{Если хотя бы для}$$

одного i , ($i = \overline{1, m}$) выполняется условие $d_{j_*} \geq \min_i \left(\frac{1 - r_i}{\underline{\alpha}_{ij_*}} \right)$, то фиксируем все найденные значения

x_j^{so} , принимаем $x_j^{so} = 0$, для $j \in I$ подставим в ограничение (6), а для остальных x_j^{so} , ($j \in R$) строим задачу линейного программирования и решаем каким-то известным методом. Ясно, что размерность полученной задачи будет существенно меньшей. Эти обстоятельства еще раз подтверждены при вычислительных экспериментах.

Результаты вычислительных экспериментов обоих методов представлены ниже.

Для того, чтобы оценить погрешности, построенных вышеуказанными методами субоптимистического и субпессимистического значений целевой функции (1) от оптимистического и пессимистического значений, используем следующие формулы:

$$\delta_{so.sht}^1 \leq \frac{\bar{f}_{op} - f_{so.sht}^1}{\bar{f}_{op}}, \quad \delta_{so.sht}^2 \leq \frac{\bar{f}_{op} - f_{so.sht}^2}{\bar{f}_{op}},$$

$$\delta_{sp.sht}^1 \leq \frac{\bar{f}_p - f_{sp.sht}^1}{\bar{f}_p}, \quad \delta_{sp.sht}^2 \leq \frac{\bar{f}_p - f_{sp.sht}^2}{\bar{f}_p}.$$

Здесь $\delta_{so.sht}^1$, $\delta_{so.sht}^2$, $\delta_{sp.sht}^1$, $\delta_{sp.sht}^2$ – означают относительные погрешности субоптимистического и субпессимистического значений от оптимистического и пессимистического, соответственно для 1-ого и 2-ого подхода,

\bar{f}_{op} , \bar{f}_p – означают оптимальные значения целевой функции соответствующих задач линейного программирования, т.е. случай $n = 0$.

$f_{so.sht}^1$, $f_{so.sht}^2$, $f_{sp.sht}^1$, $f_{sp.sht}^2$ – означают субоптимистические и субпессимистические значения целевой функции, полученные подходами 1 и 2 соответственно,

$k_{so.sht}$ и $k_{sp.sht}$ – означают число оставшихся непрерывных переменных при применении вышеизложенного 2-ого подхода для оптимистической и пессимистической задачи.

4. Результаты вычислительных экспериментов.

Для выявления качества разработанных методов составлены их программы и проведен ряд вычислительных экспериментов над задачами большой размерности. Коэффициенты решённых задач выбраны псевдослучайно двухзначными или трёхзначными числами удовлетворяющие следующим условиям:

$$I. \quad 0 \leq \underline{a}_{ij} \leq 99, 1 \leq \bar{a}_{ij} \leq 99, 1 \leq \underline{c}_j \leq 99, 1 \leq \bar{c}_j \leq 99, (j = \overline{1, N}).$$

$$II. \quad 0 \leq \underline{a}_{ij} \leq 999, 1 \leq \bar{a}_{ij} \leq 999, 1 \leq \underline{c}_j \leq 999, 1 \leq \bar{c}_j \leq 999, (j = \overline{1, N}).$$

$$\underline{b}_i := \left[\frac{1}{3} \sum_{j=1}^N \underline{a}_{ij} \cdot d_j \right], \quad \bar{b}_i := \left[\frac{1}{3} \sum_{j=1}^N \bar{a}_{ij} \cdot d_j \right].$$

Кроме того, принято $d_j = 10$, ($j = \overline{1, N}$). Результаты проведённых экспериментов представлены в следующих таблицах, где для каждой размерности решены 5 различных задач.

Таблица 1. Результаты решённых задач с двухзначными коэффициентами ($N = 500$; $n = 300$; $m = 10$).

№	1	2	3	4	5
\bar{f}_{op}	229490.527	227378.366	223084.763	224916.745	219829.074
$f_{so.sht}^1$	228690.000	226478.417	222197.000	224412.500	218485.882
$f_{so.sht}^2$	228690.000	226684.546	222197.000	224856.750	218546.732
$\delta_{so.sht}^1$	0.003	0.0039	0.004	0.002	0.006
$\delta_{so.sht}^2$	0.003	0.003	0.004	0.0002	0.0058

$k_{so.sht}$	107	96	92	101	100
\bar{f}_p	140399.242	141841.900	139481.812	137560.440	135850.227
$f_{sp.sht}^1$	139740.971	141429.000	138863.509	137004.407	134805.818
$f_{sp.sht}^2$	139845.315	141429.000	138863.509	137446.536	134915.512
$\delta_{sp.sht}^1$	0.005	0.003	0.004	0.004	0.008
$\delta_{sp.sht}^2$	0.004	0.003	0.004	0.000	0.007
$k_{sp.sht}$	142	137	128	135	135

Таблица 2. Результаты решённых задач с двухзначными коэффициентами
($N = 1000$; $n = 600$; $m = 10$).

№	1	2	3	4	5
\bar{f}_{op}	459128.212	452971.002	444381.328	450934.920	444367.018
$f_{so.sht}^1$	458288.833	451789.182	443960.361	449902.471	443973.462
$f_{so.sht}^2$	458876.350	451865.322	444010.211	450720.012	444120.010
$\delta_{so.sht}^1$	0.002	0.003	0.001	0.002	0.001
$\delta_{so.sht}^2$	0.0005	0.002	0.000	0.0004	0.0005
$k_{so.sht}$	182	210	192	197	204
\bar{f}_p	278280.833	281824.033	280697.887	278230.307	274328.993
$f_{sp.sht}^1$	277755.804	281184.000	280082.765	277519.011	273675.906
$f_{sp.sht}^2$	277982.847	281184.000	280420.356	277954.033	273869.462
$\delta_{sp.sht}^1$	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
$\delta_{sp.sht}^2$	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
$k_{sp.sht}$	263	268	259	276	274

Таблица 3. Результаты решённых задач с трёхзначными коэффициентами
($N = 500$; $n = 300$; $m = 10$).

№	1	2	3	4	5
\bar{f}_{op}	2078143.461	2048008.113	2011136.079	2036905.014	1996025.589
$f_{so.sht}^1$	2071170.116	2042500.567	2003756.014	2029205.019	1983177.514
$f_{so.sht}^2$	2076170.125	2046500.667	2010756.014	2034205.019	1993477.124
$\delta_{so.sht}^1$	0.003	0.003	0.004	0.004	0.006
$\delta_{so.sht}^2$	0.001	0.001	0.0001	0.001	0.001
$k_{so.sht}$	111	105	94	107	104
\bar{f}_p	1415717.044	1428348.507	1398445.814	1383115.720	1364663.837
$f_{sp.sht}^1$	1408712.542	1422700.145	1393925.005	1377361.488	1356291.397
$f_{sp.sht}^2$	1411712.042	1426700.845	1397934.009	1377961.378	1360091.005
$\delta_{sp.sht}^1$	0.005	0.004	0.003	0.004	0.006
$\delta_{sp.sht}^2$	0.002	0.001	0.003	0.0037	0.003
$k_{sp.sht}$	140	134	130	132	136

Таблица 4. Результаты решённых задач с трёхзначными коэффициентами

(N = 1000; n = 600; m = 10).

№	1	2	3	4	5
\bar{f}_{op}	4167732.651	4072629.011	4005598.048	4103210.997	4027310.198
$f_{so.sht}^1$	4160053.202	4062713.080	3998026.463	4094951.490	4016642.963
$f_{so.sht}^2$	4166734.203	4069813.423	4001021.762	4100017.090	4019842.983
$\delta_{so.sht}^1$	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
$\delta_{so.sht}^2$	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
$k_{so.sht}$	194	222	204	213	
\bar{f}_p	2807549.865	2842500.397	2828228.952	2805374.485	2770284.307
$f_{sp.sht}^1$	2798746.855	2833443.984	2820423.270	2795778.143	2765049.000
$f_{sp.sht}^2$	2801546.155	2838443.564	2825421.370	2798978.583	2765049.000
$\delta_{sp.sht}^1$	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
$\delta_{sp.sht}^2$	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002
$k_{sp.sht}$	262	268	260	277	272

5. Выводы. Исходя из вышеуказанных таблиц, можно сделать следующие выводы: Разность субоптимистического и субпессимистического значений задачи (1)–(4), полученная методом в данной работе от оптимистического и пессимистического значений функционала задачи (1)–(4) не велика, а относительные погрешности субоптимистического и субпессимистического значений от оптимистического и пессимистического значений меняется в пределах 0.2-0.6 % и 0.1-0.8% соответственно. С другой стороны, второй подход в большинстве случаев даёт лучшие результаты, чем первый. Однако есть задачи, в которых оба подхода дают одинаковые результаты. Поэтому, учитывая, незначительное компьютерное время для решения конкретной задачи предлагаем применить оба подхода и выбрать из них наилучшее решение из них.

Список Литературы (References)

1. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления: учебное пособие. Пер. с англ. М, « Мир »:1987.
2. Девятерикова М.В., Колоколов А.А. Алгоритмы перебора L-классов для задачи о рюкзаке с интервальными данными // Препринт. Омск: Ом ГУ. —2001. — 20 с.
3. Девятерикова М.В., Колоколов А.А., Колосов А.П. Алгоритмы перебора L-классов для булевой задачи о рюкзаке с интервальными данными // Материалы III Всероссийской конференции “Проблемы оптимизации и экономическое

приложение”. — Омск: Изд-во Ом ГТУ, 2006. — С. 87.

4. Emelichev V.A., Podkopaev D.P., Quantitative stability analysis for vector problems of 0-1 programming // Discrete Optimisation. — 2010. — № 7. —P.48-63.

5. Hladik M. On strong optimality of interval linear programming // Optim.Lett. —2017. —11(7).—P.1459-1468

6. Li W., Liu X., Li H., Generalized solutions to interval linear programs and related necessary and sufficient optimality conditions // Optim. Methods Softw. 2015.—30(3). —P.516-530.

7. Libura M. Integer programming problems with inexact objective function // Control And Cybernetics.— 1980. — Vol. 9, № 4. — P.189-202.

8. Мамедов К.Ш., Мамедова А.Г. Понятия субоптимистического и субпессимистического решений и построение их в интервальной задаче Булевого программирования // Радиоэлектроника, Информатика, Управление. — 2016. — №3(38), С.99-107.

9. Mamedov K.Sh., Mammadli N.O. Two methods for construction of suboptimistic and subpessimistic solutions of the interval problem of mixed-Boolean programming // Radio Electronics, Computer Science, Control. — 2018, №3(46). —P.57-67.

10. Mostafae A., Hladik M., Cerny M. Inverse linear programming with interval coefficients // J.Comput. Appl.Math. —2016. —292:591-608.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВОЯКОПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОРТОТРОПНЫХ УПРУГИХ
ВКЛЮЧЕНИЙ И ДВУХ СИСТЕМ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ КОГЕЗИОННЫХ ТРЕЩИН В
ИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ**

Мехтиев Рафаел Керим оглы

Кандидат физико–математическое наук,
доцент кафедры Технология материалов

Азербайджанский Технический Университет. г.Баку.

¹Азербайджан, Баку, Ясамал

²Азербайджан, Баку

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.6](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.6)

АННОТАЦИЯ.

На стадии проектирования новых машин и конструкций необходимо учитывать случаи, когда в отдельных узлах машин и конструкций могут возникнуть трещины. Это особенно проявляется в деталях новой техники, в которых наибольшее применение находят высокопрочные конструкционные материалы, имеющих периодическую структуру (композиты), и склонные к хрупкому разрушению. Их работоспособность в значительной степени определяется уровнем концентрации напряжений на контурах раздела различных сред.

ABSTRACT.

At the design stage of new machines and structures, it is necessary to take into account cases when cracks may occur in individual nodes of machines and structures. This is especially evident in the details of the new technology, in which high-strength structural materials with a periodic structure (composites) and prone to brittle fracture are most used. Their performance is largely determined by the level of stress concentration at the separation circuits of various media.

Keywords: doubly periodic lattice, mean stresses, boundary conditions, longitudinal shift, linear algebraic equations, singular equations.

Постановка задачи. Пусть имеется изотропная упругая плоскость, ослабленная двояко периодической системой круговых отверстий, имеющих радиусы λ ($\lambda < 1$) и центры в точках

$$P_{mn} = m\omega_1 + n\omega_2; (m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots),$$

$$\omega_1 = 2; \omega_2 = \omega_1 \cdot h e^{i\alpha}; h > 0; Im\omega_2 > 0.$$

Круговые отверстия плоскости заполнены шайбами без натяга из ортотропного упругого материала, поверхность которых равномерно покрыта однородной цилиндрической пленкой. Кроме того, считается, что упругая плоскость ослаблена двумя двоякопериодическими системами прямолинейных когезионных трещин, берега которых вне конечных

зон свободны от внешних усилий. Рассматриваемая плоскость подвергнута сдвигу усилиями $\tau_y = \tau_y^\infty$, $\tau_x = 0$ (сдвиг на бесконечности) (рис. 1).

При действии внешней нагрузки на составное тело в связях, соединяющие берега конечных зон пред разрушения возникают касательные усилия $q_y(x)$ и $q_x(y)$ соответственно. Эти напряжения заранее неизвестны и подлежат определению в процессе решения краевой задачи механики разрушения [4].

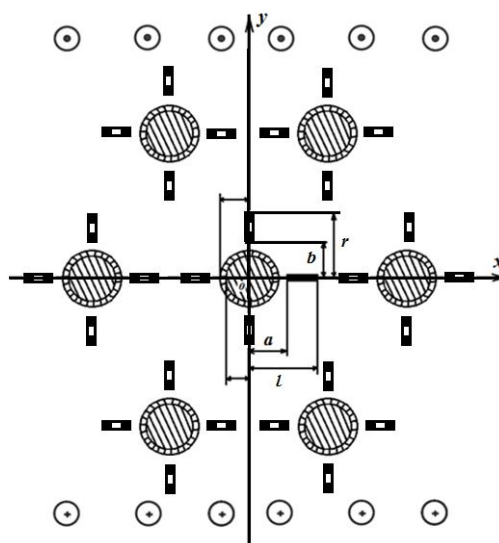


Рис. 1. Расчетная схема задачи о взаимодействии периодической системы инородных включений и когезионных трещин при продольном сдвиге

Выражая напряжения и смещение w через аналитическую функцию

$$\tau_x - i\tau_y = f'(z), \quad w = \frac{1}{\mu} \operatorname{Re} f(z)$$

(где μ – постоянная материала среды; $i = \sqrt{-1}$), краевые условия поставленной задачи запишем в виде [1]

$$\left(1 + \frac{\mu_b}{\mu_t}\right) f_b(\tau_1) + \left(1 - \frac{\mu_b}{\mu_t}\right) \overline{f_b(\tau_1)} = 2f_t(\tau_1), \quad (1)$$

$$\left(1 + \frac{\mu_t}{\mu_s}\right) f_t(\tau) + \left(1 - \frac{\mu_t}{\mu_s}\right) \overline{f_t(\tau)} = 2f_s(\tau), \quad (2)$$

$$f'_s(t) - \overline{f'_s(t)} = f_x(t), \quad f'_s(t_1) - \overline{f'_s(t_1)} = f_y(t_1), \quad (3)$$

где $\tau = \lambda e^{i\theta} + m\omega_1 + n\omega_2$; $m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ $\tau_1 = (\lambda - h)e^{i\theta} + m\omega_1 + n\omega_2$ h – толщина покрытия; t и t_1 – аффиксы точек берегов трещин, направленных по осям абсцисс и ординат, соответственно. Величины, относящиеся к покрытию, шайбе и плоскости, в дальнейшем обозначаются соответственно индексами t , b и s [6]:

$$f_x(t) = \begin{cases} 0 & \text{на свободных берегах трещин коллинеарных оси абсцисс} \\ -2iq_y(t) & \text{на берегах концевых зон трещин} \end{cases}$$

$$f_y(t_1) = \begin{cases} 0 & \text{на свободных берегах трещин коллинеарных оси ординат} \\ -2iq_x(t_1) & \text{на берегах концевых зон трещин} \end{cases}$$

Основные соотношения рассматриваемой задачи дополняются соотношениями, связывающими сдвиг берегов зон пред разрушения (концевые зоны) и усилия в связях. Без потери общности эти соотношения представим в виде

$$w^+(x, 0) - w^-(x, 0) = C(x, q_y(x))q_y(x), \quad (4)$$

$$w^+(0, y) - w^-(0, y) = C(y, q_x(y))q_x(y). \quad (5)$$

Здесь функции $C(x, q_y(x))$ и $C(y, q_x(y))$ представляют собой эффективные податливости связей; $(w^+ - w^-)$ – сдвиг берегов зон трещин в плоскости.

Решение краевой задачи. Решение краевой задачи ищем в виде [8]

$$f_s(z) = f_1(z) + f_2(z) + f_3(z), \quad (6)$$

$$f_b(z) = \sum_{k=0}^{\infty} a_{2k} \frac{z^{2k+1}}{2k+1}, \quad f_t(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_{2k} z^{2k+1}, \quad (7)$$

$$f_1'(z) = F_1(z) = \tau_y^{\infty} + \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_{2k+2} \frac{\lambda^{2k+2} \rho^{(2k)}(z)}{(2k+1)!}, \quad (8)$$

$$F_2(z) = \frac{1}{i\omega} \int_{L_1} g(t) \operatorname{ctg} \frac{\pi}{\omega}(t-z) dt, \quad (9)$$

$$F_3(z) = \frac{1}{i\omega} \int_{L_2} g_1(t_1) \operatorname{ctg} \frac{\pi}{\omega}(it_1 - z) dt_1,$$

где интегралы в (9) берутся по линиям $L_1 = \{[-\ell, -a] + [a, \ell]\}$, $L_2 = \{[-r, -b] + [b, r]\}$,
 $\rho(z) = \left(\frac{\pi}{\omega}\right)^2 \frac{1}{\sin^2 \frac{\pi z}{\omega}} - \frac{1}{3} \left(\frac{\pi}{\omega}\right)^2$; $g(t)$, $g_1(t_1)$ – искомые функции, характеризующие продоль-
 ный сдвиг берегов трещин с концевыми зонами

$$g(x) = \frac{\mu_s}{2} \frac{d}{dx} [w^+(x, 0) - w^-(x, 0)] \quad \text{на } L_1, \quad (10)$$

$$g_1(y) = \frac{\mu_s}{2} \frac{d}{dy} [w^+(0, y) - w^-(0, y)] \quad \text{на } L_2. \quad (11)$$

К основным представлениям (6)–(9) добавляются дополнительные условия, вытекающие из физического смысла задачи

$$\int_{-\ell}^{-a} g(t) dt = 0, \quad \int_a^{\ell} g(t) dt = 0, \quad \int_{-r}^{-b} g_1(t_1) dt_1 = 0, \quad \int_b^r g_1(t_1) dt_1 = 0. \quad (12)$$

Неизвестные функции $g(x)$ и $g_1(y)$, и коэффициенты a_{2k} , b_{2k} , α_{2k} должны быть определены из краевых условий (1)–(3). Для составления уравнений относительно неизвестных коэффициентов преобразуем краевое условие (2) к виду

$$\left(1 + \frac{\mu_t}{\mu_s}\right) f_t(\tau) + \left(1 - \frac{\mu_t}{\mu_s}\right) \overline{f_t(\tau)} = 2[f_1(\tau) + f_2(\tau) + f_3(\tau)] \quad (13)$$

Относительно функций $f_2(\tau)$ и $f_3(\tau)$ будем считать, что они разлагаются на контуре $|\tau| = \lambda$ в ряды Фурье.

Для вывода разрешающих уравнений подставим в граничные условия (1) – (2) вместо функций $f_b(z)$, $f_t(z)$, $f_1(z)$ их разложения в ряды Лорана в окрестности нулевой точки, а вместо $f_2(z)$ и $f_3(z)$ – ряды Фурье на контуре $|\tau| = \lambda$ и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях $\exp(i\theta)$ в обеих частях краевых условий, получим после некоторых преобразований совокупность бесконечных систем линейных алгебраических уравнений [5]:

$$b_{2k} = \left(1 + \frac{\mu_b}{\mu_t}\right) a_{2k} \frac{\lambda_3^{2k+1}}{2(2k+1)\lambda^{2k+1}}, \quad b_{-2k-2} = \left(1 + \frac{\mu_b}{\mu_t}\right) \bar{a}_{2k} \frac{(\lambda-h)^{4k+2} \lambda_3^{-2k-1}}{2(2k+1)\lambda^{-2k-2}}, \quad (14)$$

$$\frac{\lambda_3 a_0}{4\lambda} (g_1 + f^2 h_1) = \tau_y^\infty + c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_{2k+2} \lambda^{2k+2} r_{0,k}, \quad \frac{\lambda_3 \bar{a}_0}{4} [h_2 f^2 + g_2] = -\alpha_2,$$

$$\frac{\lambda_3^{2k+1} a_{2k}}{4\lambda^{2k+1}} (g_1 + f^{4k+2} h_1) = \alpha_2 \lambda^2 r_{0,1} + \sum_{p=1}^{\infty} \alpha_{2p+2} \lambda^{2p+2} r_{p,k} + \frac{c_{2k}}{\lambda^{2k}},$$

$$\frac{\lambda_3^{2k+1} \bar{a}_{2k} \lambda^{2k}}{4\lambda^{2k+1}} (g_2 + f^{4k+2} h_2) = -\alpha_{2k+2}.$$

Здесь

$$g_1 = \left(1 + \frac{\mu_b}{\mu_t}\right) \left(1 + \frac{\mu_t}{\mu_s}\right), \quad g_2 = \left(1 + \frac{\mu_b}{\mu_t}\right) \left(1 - \frac{\mu_t}{\mu_s}\right), \quad h_1 = \left(1 - \frac{\mu_t}{\mu_s}\right) \left(1 - \frac{\mu_b}{\mu_t}\right),$$

$$h_2 = \left(1 + \frac{\mu_t}{\mu_s}\right) \left(1 - \frac{\mu_b}{\mu_t}\right),$$

$$r_{p,k} = \frac{(2p+2k+1)! g_{p+k+1}^*}{(2p)!(2k+1)! 2^{2p+2k+1}}, \quad f = \frac{\lambda-h}{\lambda}, \quad g_{p+k+1}^* = 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^{2(p+k+1)}}, \quad g = \frac{a_{44}}{a_{55}} = \frac{\mu_2}{\mu_1},$$

$$\lambda_3 = \frac{\lambda}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{2g}{1+g}\right)^2 + \left(\frac{2}{1+g}\right)^2}, \quad r_{0,0} = 0.$$

Требую теперь, чтобы функции (6)–(9) удовлетворяли граничному условию на берегах когезионных трещин, получим систему двух сингулярных интегральных уравнения относительно $g(x)$ и $g_1(y)$ [4]:

$$\frac{1}{\pi} \int_{L_1} g(t) \operatorname{ctg} \frac{\pi}{\omega} (t-x) dt - \operatorname{Im}[F_*(x)] = f_x(x) \quad \text{на } L_1, \quad (15)$$

$$\frac{1}{\pi} \int_{L_2} g_1(t) \operatorname{cth} \frac{\pi}{\omega} K(t_1-y) dt_1 - \operatorname{Im}[F_{**}(y)] = f_y(y) \quad \text{на } L_2, \quad (16)$$

$$F_*(x) = F_1(x) + F_3(x), \quad F_{**}(y) = F_1(y) + F_2(y).$$

Бесконечные алгебраические системы (14) совместно с сингулярными интегральными уравнениями (15)–(16) и соотношениями (4)–(5) являются основными разрешающими уравнениями задачи, позволяющими определить $g(x)$, $g_1(y)$ и коэффициенты a_{2k} , b_{2k} , α_{2k} . Алгебраические системы (14) и интегральные уравнения (15)–(16) оказались связанными и должны решаться совместно. После определения комплексных потенциалов $f_s(z)$, $f_b(z)$ и $f_t(z)$ можно найти напряженно-деформированное состояние кусочно-однородной среды.

Воспользовавшись разложением функции $\operatorname{ctg} \frac{\pi}{\omega}(z)$ и $\operatorname{cth} \frac{\pi}{\omega}(z)$ в основной полосе периодов, а также учитывая, что $g(x) = -g(-x)$, $g_1(y) = -g_1(-y)$ и применяя замену переменных, интегральные уравнения (15)–(16) приведем к стандартной форме. Использование квадратурных формул позволяет заменить основные разрешающие уравнения (15)–(16) двумя конечными алгебраическими уравнениями относительно приближенных значений p_k^0 , R_v^0 искомых функций в узловых точках

$$\sum_{k=1}^n a_{m,k} p_k^0 - \frac{1}{2} \operatorname{Im}[F_*(\eta_m)] = f_x(\eta_m), \quad (m = 1, 2, \dots, M-1), \quad (17)$$

$$\sum_{v=1}^n a_{m,v}^* R_v^0 - \frac{1}{2} \operatorname{Im}[F_{**}(\eta_m)] = f_y(\eta_m). \quad (18)$$

Здесь

$$a_{m,k} = \frac{1}{2M} \left[\frac{1}{\sin \theta_m} \operatorname{ctg} \frac{\theta_m + (-1)^{|m-k|} \theta_k}{2} + B(\eta_m, \tau_k) \right],$$

$$a_{m,v}^* = \frac{1}{2M} \left[\frac{1}{\sin \theta_m} \operatorname{ctg} \frac{\theta_m + (-1)^{|m-v|} \theta_v}{2} + B^*(\eta_m, \tau_v) \right].$$

К системам (17)–(18) необходимо добавить дополнительные условия (12), которые в дискретной форме принимают вид

$$\sum_{k=1}^M \frac{p_k^0}{\sqrt{1/2(1-\lambda_1^2)(\tau_k+1)+\lambda_1^2}} = 0, \quad \sum_{v=1}^M \frac{R_v^0}{\sqrt{1/2(1-\lambda_2^2)(\tau_v+1)+\lambda_2^2}} = 0. \quad (19)$$

Системы (17), (18), (19) являются связанными с бесконечными алгебраическими системами (14), в которых вместо коэффициентов C_{2k} подставлено квадратурное соотношение.

В правую часть полученных систем (17)–(18) входят неизвестные значения напряжений $q_y(\eta_m)$, $q_x(\eta_m)$ в узловых точках, принадлежащих конечным зонам соответствующих трещин. Неизвестные напряжения в связях $q_y(\eta_m)$ и $q_x(\eta_m)$, возникающие на берегах конечных зон L_1 и L_2 соответственно, определяются из дополнительных условий (4)–(5). Используя построенное решение, уравнения (4)–(5) представим в виде

$$\frac{d}{dx} [C(x, q_y(x))q_y(x)] = \frac{2}{\mu_s} g(x), \quad (20)$$

$$\frac{d}{dy} [C(y, q_x(y))q_x(y)] = \frac{2}{\mu_s} g_1(y). \quad (21)$$

Требую выполнения условий (20) и (21) в узловых точках, принадлежащих концевым зонам L_1 и L_2 соответственно, получим еще две системы из M_1 и M_2 уравнений каждая для определения значений, $q_y(\eta_{m_1})$ и $q_x(\eta_{m_2})$ ($m_1 = 1, 2, \dots, M_1$, $m_2 = 1, 2, \dots, M_2$). При этом используется метод конечных разностей.

$$C(x_{m+1}, q_y(x_{m+1}))q_{y,m+1} - C(x_{m-1}, q_y(x_{m-1}))q_{y,m-1} = \frac{4(\ell - a)}{\mu_s M} g(x_m), \quad (m = 1, 2, \dots, M_1),$$

$$C(y_{m+1}, q_x(y_{m+1}))q_{x,m+1} - C(y_{m-1}, q_x(y_{m-1}))q_{x,m-1} = \frac{4(r - b)}{\mu_s M} g_1(y_m), \quad (m = 1, 2, \dots, M_2).$$

где

$$q_{y,m} = q_y(\tau_m), \quad x_{m+1} = \frac{\ell + a}{2} + \frac{\ell - a}{2} \eta_{m+1}, \quad \tau = \cos \theta, \quad \eta_m = \cos \theta_m, \quad \theta_m = \frac{2m-1}{2M} \pi,$$

$$(m = 1, 2, \dots, M), \quad q_{x,m} = q_x(\tau_m), \quad y_{m+1} = \frac{r+b}{2} + \frac{r-b}{2} \eta_{m+1}.$$

После определения значений p_k^0 и R_v^0 коэффициенты интенсивности напряжений K_{III} находятся на основании соотношений.

В поставленной задаче для коэффициентов интенсивности напряжений K_{III}^a , K_{III}^b , K_{III}^ℓ , K_{III}^r у вершин трещина на концах $x = \pm \ell$; $x = \pm a$ и $y = \pm b$, $y = \pm r$ будем иметь следующие формулы

$$K_{III}^\ell = -\lim_{x \rightarrow \ell} [\sqrt{2\pi|x - \ell|} g(x)], \quad K_{III}^a = \lim_{x \rightarrow a} [\sqrt{2\pi|x - a|} g(x)], \quad (22)$$

$$K_{III}^r = -\lim_{y \rightarrow r} [\sqrt{2\pi|y - r|} g_1(y)], \quad K_{III}^b = \lim_{y \rightarrow b} [\sqrt{2\pi|y - b|} g_1(y)].$$

Используя полученное решение, на основании соотношений (22) имеем

$$K_{III}^a = \sqrt{\frac{\pi \ell (1 - \lambda_1^2)}{\lambda_1}} \frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n (-1)^{k+n} p_k^0 \operatorname{tg} \frac{\theta_k}{2}, \quad K_{III}^b = \sqrt{\frac{\pi r (1 - \lambda_2^2)}{\lambda_2}} \frac{1}{2n} \sum_{v=1}^n (-1)^{v+n} R_v^0 \operatorname{tg} \frac{\theta_v}{2}, \quad (23)$$

$$K_{III}^\ell = \sqrt{\pi \ell (1 - \lambda_1^2)} \frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n (-1)^k p_k^0 \operatorname{ctg} \frac{\theta_k}{2}, \quad K_{III}^r = \sqrt{\pi r (1 - \lambda_2^2)} \frac{1}{2n} \sum_{v=1}^n (-1)^v R_v^0 \operatorname{ctg} \frac{\theta_v}{2}.$$

Численные результаты и их анализ

Для анализа предельного равновесия трещин с концевыми зонами необходимы два условия (двухпараметрический критерий) разрушения. Первый критерий это условие продвижение вершины трещины, а второй это условие разрыва связей на краю концевой зоны.

В качестве первого условия разрушения используем силовой критерий разрушения Ирвина. Состоянию предельного равновесия вершины трещины соответствует выполнение условия

$$K_{III} = K_{IIIc} \quad (24)$$

где K_{IIIc} – постоянная материала, определяемая опытным путем [143, 145].

В качестве второго условия разрушения используем критерий критического сдвига берегов трещины и считаем, что предельный сдвиг связей на краю концевой зоны ($x_* = \ell - \ell_*$ и $x_* = a_* - a$ или $y_* = r - r_*$ и $y_* = b_* - b$) происходит при выполнении условий

$$V(x_*) = w_s^+(x_*, 0) - w_s^-(x_*, 0) = \delta_{IIIc}, \quad V(y_*) = w_s^+(0, y_*) - w_s^-(0, y_*) = \delta_{IIIc}, \quad (25)$$

где δ_{cr} – трещин стойкость материала связующего, определяется опытным путем [4, 6].

Для заданных размеров трещин и концевых зон, используя предельные значения K_{IIc} и δ_{cr} можно выделить режимы равновесия и роста трещин при монотонном нагружении. Если выполняются условия

$$K_{III} \geq K_{IIIc}, \quad V(x_*) \text{ и } V(y_*) < \delta_{IIIc},$$

то происходит продвижение вершины трещины с одновременным увеличением длины концевой зоны без разрыва связей. Этот этап развития трещин можно рассматривать, как процесс приспособляемости к заданному уровню внешних нагрузок.

На основании полученных результатов на рис. 1 в случае жесткого включения при $\nu_s = 0,3$ построены графики зависимости критической нагрузки $\tau_* = \tau_{xy}^\infty \sqrt{\omega} / K_{IIc}$ от расстояния $a_* = a - \lambda$ для обоих концов трещины, вдоль оси абсцисс (кривая 1 соответствует левому концу) при $\lambda = 0,3$. Штриховой линией для сравнения показана зависимость τ_* при отсутствии включений и покрытий (материал включения, покрытия и связующего одинаков) при той же геометрии трещин, вычисленная по описанной методике.

На рис. 2 – 3 представлены графики зависимости предельной нагрузки τ_* от длины трещины. При расчетах было принято $\mu_b / \mu_s = 25$; $\mu_b / \mu_t = 50$.

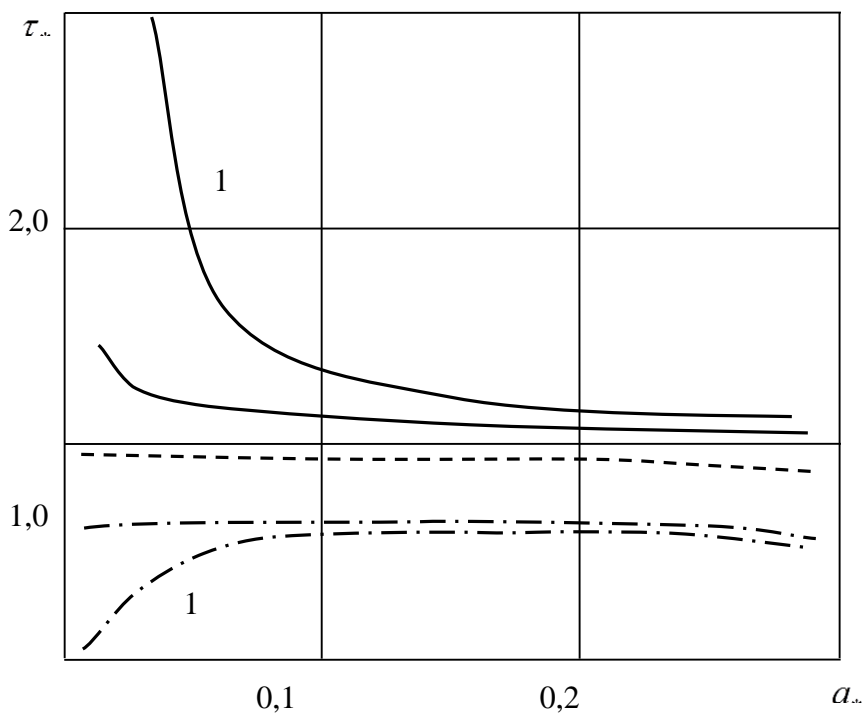


Рис. 2. Зависимости критической нагрузки $\tau_* = \tau_{xy}^\infty \sqrt{\omega} / K_{IIc}$ от расстояния $a_* = a - \lambda$ для обоих концов трещины

Как видно, при некоторых значениях радиуса отверстия λ возможно устойчивое развитие системы трещин (их взаимное упрочнение). Проведенный параметрический анализ задачи показал, что концентрация напряжений около включений в связующем оказывает существенное влияние на развитие очень малых трещин. С ростом длины трещин с концевыми зонами это влияние затухает и уже при $\ell - \lambda > \lambda$ и $r - \lambda > \lambda$ им можно пренебречь, однако при этом начинается сказываться взаимодействие трещин. В зависимости от геометрических и физических параметров задачи наблюдается устойчивое развитие трещин с концевыми зонами.

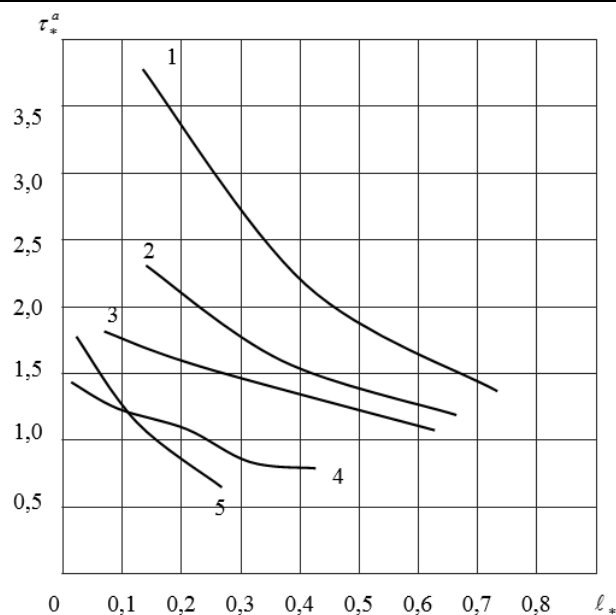


Рис. 3. Зависимости предельной нагрузки τ_*^a от длины трещины

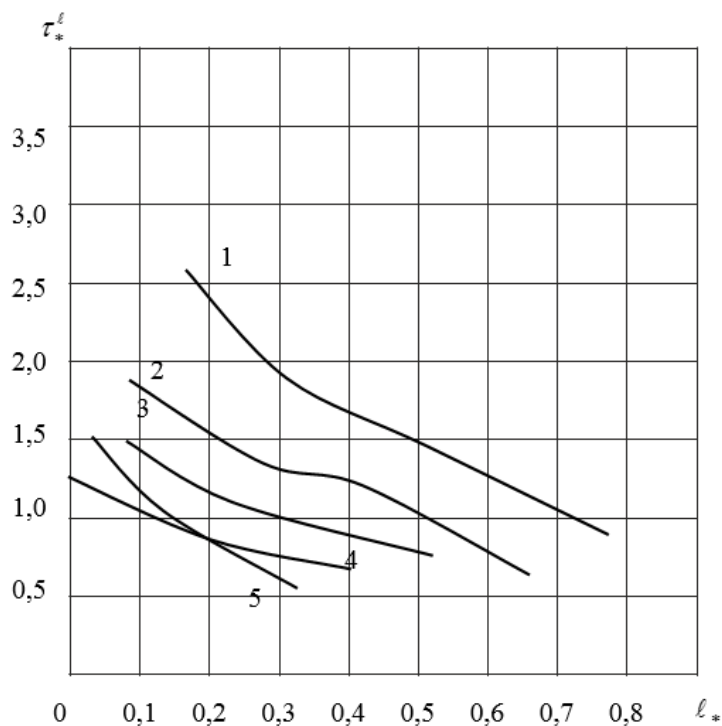


Рис. 4. Зависимости предельной нагрузки τ_*^ℓ от длины трещины

Наличие гибкого включения повышает коэффициент интенсивности напряжений, тогда как жесткие включения по сравнению с материалом связующего уменьшают его. Влияние включения особенно эффективно сказывается на близко расположенную вершину трещины.

Вывод. Модель трещины с концевыми зонами позволяет исследовать закономерности распределения усилий в связях при различных законах деформирования, проводить анализ предельного равновесия трещин с учетом деформационного и силового критерий разрушения, а также прогнозировать критическую внешнюю нагрузку и трещин стой-

кость составного тела (композита). Можно так подобрать систему концентраторов (включений), что созданное ими поле напряжений будет тормозить развитие трещин в связующем.

Список литературы:

1. Ван Фо. ФыГ.А. Теория армированных материалов с покрытиями. – Киев, Наук.думка, 1971, 230с.
2. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М., Наука, 1977, 416с.
3. Григолюк Э.И., Фильштинский Л.А. Перфорированные пластины и оболочки. – М., Наука, 1970, 556с.

4. Гасанов Ф.Ф. Моделирование зарождения трещин сдвига в теле, ослабленном периодической системой круглых отверстий / Ф. Ф. Гасанов // Пробл. машиностроения. – 2013. – Т. 16, № 3, – С. 29–37.

5. Mamedov A.T., Mekhtiev R.K. Modeling of a fibrous composite reinforced with unidirectional orthotropic fibers weakened by rectilinear cracks under longitudinal shear / Mamedov A.T., Mekhtiev R.K. // Mechanics of composite materials and structures. October-December 2017, VOLUME 23, No. 4, p. 579–591

6. Mekhtiev R.K. Dzharafarova S.A. Abdulazimova E.A. Interaction of a doubly periodic system of orthotropic inclusions and rectilinear cracks under transverse shear Miedzynarodowe czasopismo naukowe, Colloquium-journal, No. 2 (13), 2018 Czesc 1 Warszawa, Polska

7. Zolgharnein, E. Nucleation of a crack under the influence of cylindrical bodies E. Zolgharnein, V. M.

Mirsalimov // Acta Polytechnica Hungarica. - 2012. - Vol. 9, No. 2. - P. 169-183.

8. Mehtiyev R.K. The longitudinal shift of bodies with a complex structure weakened by straight-line cracks // Construction mechanics and the calculation of structures issn 0039–2383 № 5 2017. Pp. 69–72.

Сведение об авторе

Фамилия, имя, отчество: Мехтиев Рафаиль Керим оглы. Место работы, должность: Азербайджанский Технический Университет, доц. «Технология материалов» Ученое звание и степень: кандидат физ.-мат наук

Научное направление: Композиционные материалы Место жительства: AZ 1133, Баку, Сураханийский район, жил. массив «Д», дом 6, кв. 45

Контактные телефоны: раб. (+994) 538 34 69; дом. 012 477 30 11; сот. 050 348-63-97, e-mail: rafail60mehtiyev@mail.ru Дата рождения: 10 февраля 1960 г.

О КОНВЕКТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГАЗО-ПАРОВОЙ СМЕСИ ПРИ ОКОЛОКРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Палымский Игорь Борисович

Докт. физ.-мат. наук, профессор кафедры физики, г. Новосибирск

Фомин Павел Аркадьевич

Канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник

Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

г. Новосибирск

Li You-Rong

Профессор колледжа энергетики при Чунцинском университете

г. Чунцин

Wu Chun-Mei

Доцент колледжа энергетики при Чунцинском университете

г. Чунцин

АННОТАЦИЯ.

Предложена новая физико-математическая модель конвекции Рэлея-Бенара в газо-паровой смеси кислорода и циклогексана, где зависимость плотности от температуры имеет максимум. Выполнен линейный анализ устойчивости, аналитически исследованы два предельных случая, когда параметр инверсии стремится к своим предельным значениям. Получены формулы для инкремента нарастания и затухания, нейтральной кривой и границы области неустойчивости на волновой плоскости.

ABSTRACT.

A new physico-mathematical model of Rayleigh-Benard convection in a gas-vapor oxygen-cyclohexane mixture has been proposed, where the density dependence on temperature has a maximum. A linear stability analysis was performed, two limiting cases were analyzed analytically, when the inversion parameter tends to its limiting values. Formulas for the growth and decay increment, the neutral curve and the boundary of the instability region on the wave plane are obtained.

Ключевые слова: конвекция Рэлея-Бенара, число Рэлея, число Прандтля, линейная теория, инкремент.

Keywords: Rayleigh-Benard convection, Rayleigh number, Prandtl number, linear theory, increment.

Введение

Конвекция в среде с монотонной зависимостью плотности от температуры хорошо изучена и описана [1,2]. Но в природе и огромном числе практически важных приложений, например, при транспортировке углеводородов по трубопроводам, конвекции холодной воды при таянии ледников [3-7], инертных и реагирующих газо-паровых смесей в химических реакторах и технологических установ-

ках, плотность конвектирующей среды есть монотонная и нелинейная функция температуры с максимумом при определенном ее (критическом) значении. Наибольшую сложность, теоретический и практический интерес представляет собой исследование характеристик конвекции в окрестности точки максимума плотности [6,7].

В работе [8] рассматривалась конвекция химически инертной газо-паровой смеси кислорода и

циклогексана (основное сырье для производства капрона, нейлона, капролактама и др.), с учетом процессов его испарения и конденсации на границах области. Показано, что при определенной (критической) температуре, когда испаряется весь добавленный жидкий циклогексан, плотность газо-паровой среды имеет локальный максимум, а соответствующий коэффициент теплового расширения и множитель при члене плавучести в уравнениях движения проходят через ноль, меняют знак.

Подчеркнем, что предположение о конденсации циклогексана на стенках и, как следствие, образовании на них пленки более вязкой жидкой субстанции позволяет считать границы области недеформируемыми и свободными от касательных напряжений [5,9]. Анализ зависимости коэффициента теплового расширения от температуры показывает, что целесообразно, как и в [8], считать коэффициент теплового расширения кусочно-постоянной функцией температуры.

Отметим, что задача о конвекции Рэлея-Бенара в такой газо-паровой смеси асимптотически переходит в классическую задачу Рэлея [1], если максимум плотности достигается на одной из горизонтальных границ.

Отметим также очевидную качественную аналогию с проникающей конвекцией холодной воды при температуре вблизи максимума плотности, где коэффициент теплового расширения также проходит через ноль, являясь, однако, линейной функцией температуры [3,4], что дает материал для сравнения и верификации предложенной модели [5].

В частности, аналогия с проникающей конвекцией холодной воды подсказывает, что если максимум плотности достигается внутри слоя, то линия максимума плотности разделяет весь слой на два подслоя, причем неустойчивость может развиваться только в нижнем, а верхний подслоя всегда

устойчив. Причем ситуация качественно не изменится при замене подогрева снизу на подогрев сверху [4]. А также, что уменьшение относительной толщины нижнего неустойчивого подслоя должно приводить к стабилизации течения [3,4].

Целью настоящей работы является описание новой физико-математической модели конвекции Рэлея-Бенара газо-паровой смеси кислорода и паров циклогексана, с учетом процессов испарения и конденсации циклогексана и описание результатов линейного анализа устойчивости.

Физические свойства газо-паровой среды

Рассматривается конвекция газо-паровой смеси кислорода O_2 и паров циклогексана C_6H_{12} , с учетом возможной конденсации последнего на границах области. Для определенности, общая массовая доля циклогексана (в виде конденсированной фазы и пара) принята равной $\beta_0 = 0.524$.

При критической температуре T_{cr} испаряется весь добавленный в систему циклогексан. Таким образом, при $T < T_{cr}$ циклогексан присутствует в системе в виде жидкой конденсированной фазы на границах области и в виде насыщенного пара, причем увеличение температуры приводит к быстрому росту давления насыщенного пара циклогексана, согласно формуле (1) и соответствующему увеличению плотности газо-паровой среды. А при $T > T_{cr}$ циклогексан присутствует в системе только в виде ненасыщенного пара с относительно слабым изменением его парциального давления, поэтому дальнейшее увеличение температуры приводит к уменьшению плотности в соответствии с уравнением состояния идеального газа.

Ввиду малого изменения температуры в рамках используемого приближения Буссинеска, парциальное давление кислорода полагаем фиксированным и равным 1 атм . Полное давление рассматриваемой газо-паровой среды P равно сумме парциальных давлений кислорода и пара

$$P = 1 + P_{sv}.$$

При $T < T_{cr}$ давление насыщенного пара циклогексана (атм.) может быть вычислено по известной абсолютной температуре:

$$P_{sv} = 0.9.8710 \cdot \frac{2.9764 - 1206.5}{T - 473.1522314} \quad (1)$$

А при $T > T_{cr}$ циклогексан присутствует в системе только в виде ненасыщенного пара и относительно слабой по сравнению с (1) зависимостью P_{sv} от температуры при $T > T_{cr}$ здесь пренебрегаем.

Молярная масса газовой смеси μ (кг/кмоль) определена молярными массами кислорода и циклогексана и их парциальными давлениями:

$$\mu(T) = (1 \cdot 32 + P_{sv}(T) \cdot 84) / (1 + P_{sv}(T)).$$

Здесь 32 кг/кмоль и 84 кг/кмоль суть молярные массы кислорода O_2 и циклогексана C_6H_{12} , соответственно. При $T > T_{cr}$ значение молярной массы газо-паровой смеси в выбранном приближении постоянно.

$$\rho(T) = (1 + P_{sv}) \mu(T) / RT.$$

Плотность идеального газа может быть определена в соответствии с состоянием идеального газа (рис. 1): Здесь R - универсальная газовая постоянная. Температуры холодной и подогретой границ на рис. 1 показаны условно для пояснения постановки задачи и реальным значениям не соответствуют.

Коэффициент теплового расширения β может быть вычислен из соотношения:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} = -\frac{1}{B} \frac{dB}{dT}, \quad B = (1 + P_{sv})(8 + 21 \cdot P_{sv}) / T.$$

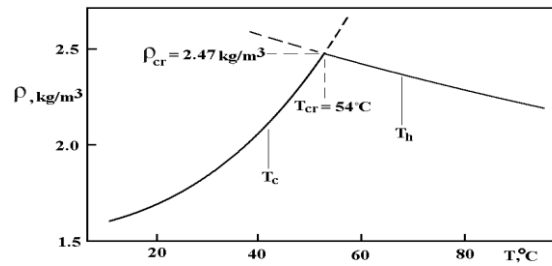


Рис. 1. Плотность газо-паровой среды.

В работе рассматривается случай, когда максимум плотности достигается внутри слоя. Разрывная зависимость коэффициента теплового расширения от температуры аппроксимируется кусочно-постоянной функцией с разрывом при критической температуре, где данная функция принимает значения 0.003054 в нижнем неустойчивом подслое и -0.01583 - в устойчивом верхнем. При этом, кинематическая вязкость ν и температуропроводность χ ведут себя как непрерывные функции и в рамках приближения Буссинеска могут считаться постоянными.

Можно показать, что значения критического давления насыщенных паров циклогексана ($P_{sv} = 0.4191 \text{ атм.}$) и температуры ($T_{cr} = 54.32^\circ\text{C}$ (327.5K)) определено массовой долей циклогексана $\beta_0 = 0.524$.

Для определенности предполагается, что температура верхней холодной горизонтальной границы T_c меньше критической T_{cr} , а температура

нижней нагретой горизонтальной границы T_h больше и, следовательно, $T_c < T_{cr} < T_h$. Как и в случае конвекции холодной воды, линия максимума плотности ($T = T_{cr}$) делит весь слой на два подслоя и неустойчивость развивается только в нижнем подслое, а верхний устойчив всегда [4]. Относительные толщины этих подслоев характеризует параметр инверсии $\tau = d/H = (T_h - T_{cr}) / (T_h - T_c)$, $0 < \tau < 1$, который есть толщина неустойчивого подслоя d отнесенная к толщине всего слоя H . В предельных случаях $\tau = 1$ и 0 описанная постановка переходит в классическую задачу Рэлея с $\beta = 0.003054$ и -0.01583 , соответственно [1]. Как и при конвекции холодной воды, анализ формы профиля плотности (рис.1) показывает, что ситуация не изменяется качественно, если нагрев снизу заменить нагревом сверху [4].

Линейный анализ

Рассуждая по аналогии [1], можно получить для исследования конвективной устойчивости в линейном приближении следующую систему уравнений:

$$\omega_t = \Delta\omega + C(\tau, y) \cdot Ra \cdot Q_x, \quad \Delta\psi = -\omega, \quad Q_t = (\Delta Q - \psi_x) / Pr.$$

Нормированный коэффициент теплового расширения $C(\tau, y)$ определен как:

$$C(\tau, y) = 1, \quad 0 \leq y \leq \tau - 5.183, \quad \tau < y \leq 1. \quad (2)$$

В системе (2) ψ и ω есть функция тока и завихренность, а Q - отклонение температуры от ее линейного равновесного профиля. Характерные значения размерных величин выбраны как: H (высота слоя) для длины, χ/H - для скорости, H^2/ν - для времени, $\rho_0 \nu \chi / H^2$ - для давления, $1/T_{cr}$ (значение в неустойчивом подслое) - для коэффициента теплового расширения и $\delta T = T_h - T_c$ для температуры, а параметр инверсии $\tau = d/H = (T_h - T_{cr}) / (T_h - T_c)$, $0 < \tau < 1$ есть высота неустойчивого подслоя d отнесенная к высоте всего слоя H . Здесь, $Ra = gH^3 \delta T / (\chi \nu T_{cr})$ и $Pr = \nu / \chi$ - числа Рэлея и Прандтля.

Для решения системы (2) при не слишком малых τ используются метод Галеркина [1,10], а при малых τ - метод ортогонализации.

В соответствии с методом Галеркина, приближенное решение системы (2) рассматривается в виде:

$$\omega(t, x, y) = \exp(-\lambda t) \sin(\alpha x) \sum_{m=1}^N \omega_m \sin(m\pi y), \quad \psi(t, x, y) = \exp(-\lambda t) \sin(\alpha x) \sum_{m=1}^N \frac{\omega_m}{S_m} \sin(m\pi y), \quad (3)$$

$$Q(t, x, y) = \exp(-\lambda t) \cos(\alpha x) \sum_{m=1}^N Q_m \sin(m\pi y), \quad S_m = \alpha^2 + m^2 \pi^2.$$

Здесь, λ есть собственное значение (инкремент), а α - волновое число. Отрицательные значения λ соответствуют неустойчивости, а положительные - устойчивости течения.

Подставляя представление (3) в систему (2) и следуя стандартной процедуре метода Галеркина [1,10], находим, что условие существования нетривиального решения системы (2) может быть записано в виде равенства нулю детерминанта где A есть квадратная матрица с компонентами A_{km} :

$$\det(A-D) = 0, \quad (4)$$

$$A_{mk} = A_{km} = \int_0^1 C(\tau, y) \sin(m\pi y) \sin(k\pi y) dy, \quad A_{mk} = -(a+1) \left(\frac{\sin(2m\pi\tau)}{2m\pi} - \tau \right) / 2 - a/2, \quad m = k,$$

$$A_{mk} = \frac{a+1}{\pi(k^2 - m^2)} (m \cos(m\pi\tau) \sin(k\pi\tau) - k \cos(k\pi\tau) \sin(m\pi\tau)), \quad m \neq k,$$

а D - диагональная с элементами d_{mm} : $d_{mm} = S_m (S_m - \lambda)(S_m - \lambda Pr) / (2Ra \cdot \alpha^2)$, $1 \leq m \leq N$.

Рассмотрим теперь асимптотические соотношения при $\tau \rightarrow 1$, когда максимум плотности достигается на верхней горизонтальной границе и рассматриваемая задача асимптотически переходит в классическую задачу Рэлея [1].

Из (4) можно найти выражения для A_{mk} :

$$A_{mk} = \frac{1}{2} - \frac{1}{3} m^2 \pi^2 (1+a)(1-\tau)^3, \quad m = k; \quad A_{mk} = \frac{1}{3} mk \pi^2 (1+a)(1-\tau)^3 (-1)^{m+k+1}, \quad m \neq k.$$

Выпуклые соотношения показывают, что матрица A при $\tau \rightarrow 1$ имеет диагональное преобладание и, как следствие, уравнения для старших гармоник отделяются и могут быть рассмотрены отдельно. Но, именно эти гармоники и определяют устойчивость и характеристики течения [1,2,10].

Тестовые вычисления показали, что при $\tau \rightarrow 1$ все характеристики устойчивости могут быть достаточно точно вычислены с учетом только одной гармоники ($N = 1$).

При $N = 1$ нейтральная кривая ($\lambda = 0$) принимает вид:

$$Ra = \frac{S^3}{2A_{11} \alpha^2}, \quad Ra = \frac{S^3}{\alpha^2} \left(1 + \frac{2}{3} \pi^2 (1+a)(1-\tau)^3 \right) = \frac{S^3}{\alpha^2} (1 + 40.68 \cdot (1-\tau)^3), \quad S = \alpha^2 + \pi^2. \quad (5)$$

Отсюда находим критическое значение числа Рэлея (минимум Ra по α):

$$Ra_{cr} = 6.75 \cdot \frac{\pi^4}{2A_{11}} = \frac{657.511}{2A_{11}} = 657.511 \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \pi^2 (1+a)(1-\tau)^3 \right), \quad (6)$$

$$Ra_{cr} = 657.511 \cdot (1 + 40.68(1-\tau)^3), \quad \alpha_{cr} = 2.221.$$

Для инкремента λ нарастания находим, что

$$\lambda = \frac{S}{2} \left(\frac{1+Pr}{Pr} \right) - \sqrt{\frac{S^2}{4} \left(\frac{1-Pr}{Pr} \right)^2 + \frac{2Ra \alpha^2 A_{1,1}}{S Pr}}, \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{S}{2} \left(\frac{1+Pr}{Pr} \right) - \sqrt{D} + \frac{\pi^2 (a+1) Ra \alpha^2}{3 Pr S \sqrt{D}} \cdot (1-\tau)^3, \quad D = \frac{S^2}{4} \left(\frac{1-Pr}{Pr} \right)^2 + \frac{Ra \alpha^2}{S Pr}.$$

При $Pr = 1$ выражение для инкремента λ существенно упрощается

$$\lambda = S - \alpha \sqrt{Ra/S} + \frac{\alpha \pi^2 (a+1)}{3} \sqrt{Ra/S} \cdot (1-\tau)^3, \quad \lambda = S - \alpha \sqrt{Ra/S} + 20.34 \cdot \alpha \sqrt{Ra/S} \cdot (1-\tau)^3. \quad (8)$$

Из соотношений (6-8) можно видеть, что критическое число Рэлея и инкремент λ отличаются от полученных в классической задаче Рэлея на величину порядка $O(1-\tau)^3$ [1] и что уменьшение значения τ приводит к стабилизации течения.

На рис. 2 как функция волнового числа α приведен инкремент нарастания λ , цифрами на кривых показаны соответствующие значения τ , здесь

$Ra = 10 \cdot Ra_{cr}$, $Ra_{cr} = 657.511$ и $Pr = 0.71$. На рис. 3 показана область неустойчивости на волновой плоскости, здесь сплошной линией показана граница области неустойчивости для задачи Рэлея ($\tau = 1$), прерывистыми - границы при $\tau = 0.8$ и 0.85 . Рис. 2 и 3 показывают стабилизацию течения при уменьшении τ .

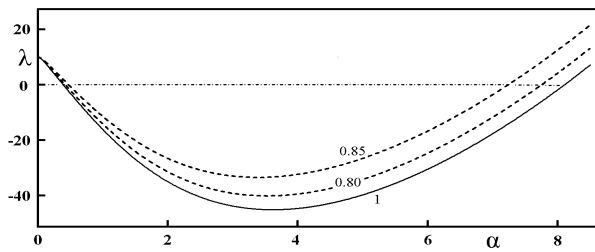


Рис. 2. Инкремент нарастания.

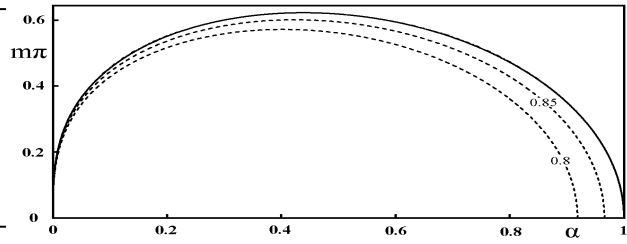


Рис. 3. Область неустойчивости.

Теперь рассмотрим предельные при $\tau \rightarrow 0$ соотношения, когда максимум плотности достигается на нижней границе слоя. Из (4) следует, что

$$A_{mk} = -\frac{1}{2}a + \frac{1}{3}m^2\pi^2(1+a)\tau^3, \quad m = k; \quad A_{mk} = \frac{1}{3}mk\pi^2(1+a)\tau^3, \quad m \neq k.$$

Можно видеть, что матрица A при $\tau \rightarrow 0$ имеет диагональное приближение, уравнения для старших гармоник отделяются и могут быть рассмотрены отдельно.

Соотношение для нейтральной кривой (6) показывает, что при $\tau \rightarrow 0$ все возмущения затухают, причем осцилляторно, если число Рэлея превышает пороговое значение 3.757 [1].

Выпишем соотношение для инкремента λ при $\tau \rightarrow 0$, для простоты положив $Pr = 1$:

$$\lambda = S - i\alpha\sqrt{aRa/S} \cdot \left(1 - \frac{\pi^2(a+1)}{3a}\tau^3\right), \quad \lambda = S - 2.277i\alpha\sqrt{Ra/S} \cdot (1 - 3.925\tau^3).$$

Из приведенного соотношения видно, что скорость затухания возмущений, определяемая вещественной частью инкремента, от величины параметра инверсии τ не зависит, а его увеличение (уменьшение) приводит к лишь незначительному уменьшению (увеличению) частоты осцилляций.

На рис. 4 и 5 сплошными линиями изображены результаты настоящей работы (линия 1) и данные по расчету конвекции в холодной воде ([4] - линия

2 и [3] - точки), а пунктирная линия соответствует классической задаче Рэлея [1]. На рис. 4 штрихпунктирной линией показан результат экспериментального исследования конвекции холодной воды [5]. На рис. 4 и 5 за масштаб длины принята высота неустойчивого подслоя, при этом данные настоящей работы пересчитаны как $Ra_{cr}\tau^4$ и $\alpha_{cr}\tau$, соответственно.

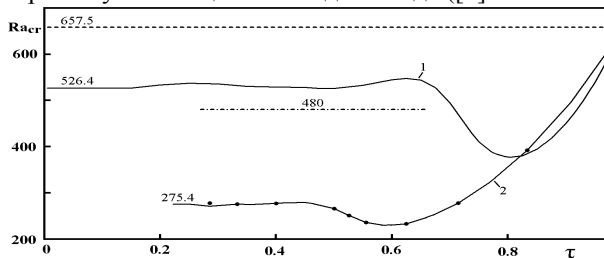


Рис. 4. Критическое число Рэлея.

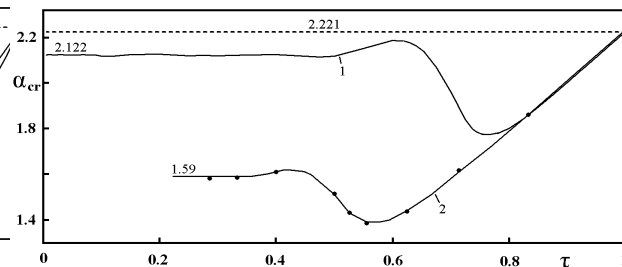


Рис. 5. Критическое волновое число.

Можно видеть, что при $0.8 < \tau \leq 1$ результаты настоящей работы близки к данным расчетов конвекции в холодной воде [3,4], при $\tau = 1$ асимптотически соответствуют данным для задачи Рэлея, а при малых τ выходят на асимптотики $Ra_{cr} = 526.4/\tau^4$ и $\alpha_{cr} = 2.122/\tau$.

Отметим, что по значению критического числа Рэлея результаты экспериментального исследования конвекции в холодной воде [5] существенно ближе к результатам настоящей работы (отклонение 9.6%), чем к теоретическим результатам по конвекции в холодной воде [3,4], где отклонение составило около 43%. В качестве возможной причины можно указать то, что в эксперименте [5], как и в настоящей работе, коэффициент теплового расширения β считался постоянным. По этой же при-

чине, результаты настоящей работы также значительно ближе к результатам решения классической задачи Рэлея (с постоянным β) [1], чем теоретические результаты по конвекции в холодной воде [3,4].

Заключение

В настоящей работе описана новая физико-математическая модель конвекции газо-паровой смеси кислорода и паров циклогексана, с учетом процессов испарения и конденсации циклогексана на границах области. Показано, что при определенной (критической) температуре, когда испаряется весь добавленный жидкий циклогексан, плотность газо-паровой среды достигает локального максимума, где коэффициент теплового расширения и сила плавучести в уравнениях движения проходят через ноль, меняют знак.

Проведен линейный анализ устойчивости и выполнен анализ данных, полученных в ходе численных расчетов нелинейных стационарных режимов конвекции Рэлея-Бенара. В обеих предельных случаях, когда максимум плотности достигается на одной из горизонтальных границ получены аналитические асимптотические формулы для характеристик устойчивости. В рамках одномодового приближения получены выражения для инкремента нарастания (затухания) первой старшей моды, исследована граница области неустойчивости на волновой плоскости.

Показано, что имеет место качественная аналогия между конвекцией в рассматриваемой газопаровой среде и проникающей конвекцией холодной воды вблизи точки максимума плотности, где коэффициент теплового расширения также проходит через нуль, но является при этом линейной функцией температуры. В частности, уменьшение относительной толщины нижнего неустойчивого подслоя приводит к стабилизации течения.

Работа выполнена в рамках Проекта РФФИ №17-58-53100.

Список литературы:

1. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972. - 392 с.
2. Палымский И.Б. Турбулентная конвекция Рэлея-Бенара. Численный метод и результаты расчетов. Германия: LAP, 2011. - 232с.

3. Veronis G. Penetrative convection//Astrophys. J.-1963.- V.137. - P.641-663.

4. Надолин К.А. О проникающей конвекции в приближении изотермически несжимаемой жидкости // Изв. РАН, сер.: МЖГ. - 1996. - №2. - с.40-52.

5. Tankin R., Farhadieh R. Effects of thermal convection currents on formation of ice // Int. J. Heat Mass Transfer. - 1971. - V.14. - P. 953-960.

6. Кузнецова Д.В., Сибгатуллин И.Н. Переходные режимы в проникающей конвекции в плоском слое // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - 2011. - №4(3). - с.907-909.

7. Hu Yu-Peng, Li You-Rong, Li Ming-Hai, Zhang Li, Li Si-Zhong. Effects of enclosure geometry and thermal boundary condition on Rayleigh-Benard convection of cold water near its maximum density // Int. J. Therm. Sci. - 2017. - V.120. - P.220-232.

8. Palymskiy I.B. About convection stability of the gas-vapor mixture at the temperature close to critical // J. App. Mech. Engineer. - V. 7. - P. 53-54.

9. Goldstein R.J., Graham D.J. Stability of a horizontal fluid with zero shear boundaries // Phys. Fluids. - 1969. - V.12. - N.6. - P.1133-1137.

10. Palymskiy I.B., Fomin P.A., Hieronymus H. Rayleigh-Benard convection in a chemical equilibrium gas (simulation of surface detonation wave initiation) // App. Math. Modelling. - 2008. - V. 32. - Is. 5. - P. 660-676.

УДК 530.1(091)

НЕТРАДИЦИОННЫЕ, ЭВРИСТИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ ИДЕИ В ТЕХНИКЕ, В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ И ЗЕЛЕНОМ РАСТИТЕЛЬНОМ МИРЕ.

Урсеитов Орозбай Урсеитович
кандидат тех. наук, доцент.

Абдылдаев Курманбек Кыянович
кандидат тех. наук, доцент.

Торубаева Упол Сокубашевна
ст. преп., соискатель.

АННОТАЦИЯ.

В статье рассматриваются нетрадиционные, эвристические новые взгляды на предмет электротехника и электроника, на живой организм и зеленый растительный мир. Авторы вводят новое понятие «Возбудитель – возбуждение».

Ключевые слова: возбудитель, усилитель, уголь, «Ичеги»

В связи с отсутствием в рамках классической и современной теории эффектов от практического применения электротехники в данной статье рассматриваются нетрадиционные эвристические новые взгляды на предмет электротехника и электроника на живой организм и зеленый растительный мир.

С развитием и практическим применением электротехники, электроники в живых организмах и зеленом растительном мире встречаются эффекты, которые не раскрыты теоретически и не опубликованы до настоящего времени. Причины их возникновения не рассматриваются в рамках классической и современной теории. В результате рождаются нетрадиционные, эвристические

научные идеи. Знакомство с предложенными новыми идеями, безусловно, будет полезно для читателя (студенты, соискатели и аспиранты).

За объект предлагаемого эффекта приняты:

- получение усиленного постоянного электрического напряжения выпрямительной схеме Ларионова;
- принцип усиления магнитным усилителем;
- принцип возникновения ферро резонанса;
- принцип горения каменного угля;
- принцип возникновения электромагнита;
- принцип возникновения внутреннего фотоэффекта;
- принципы размножения на живом организме;

- принципы фотосинтеза.

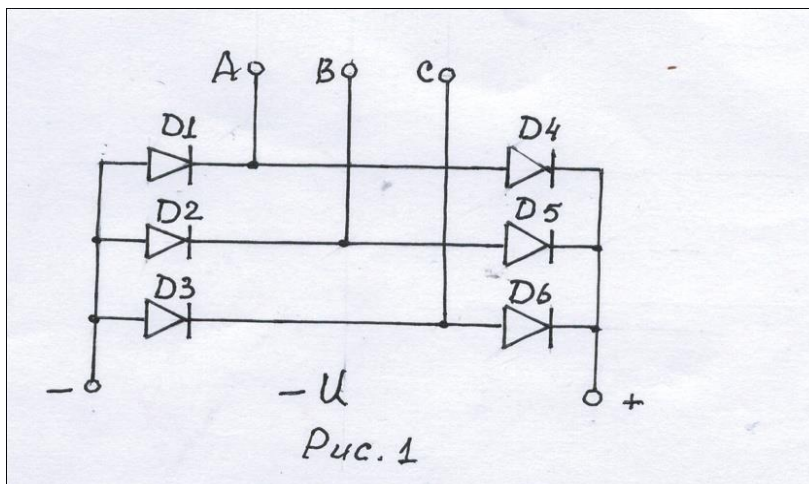
Перечисленные эффекты можно объяснить в предложенном новом физическом понятии «возбуждения - возбудитель».

Возбуждения - это измененное состояние (живых, неживых) предметов под влиянием (естественными, искусственными), возмущениями извне.

Влияние «возбудителя» на предмет и реакции предметов, а также применение на технике объясним выше перечисленными эффектами.

Получение усиленного постоянного электрического напряжения выпрямительной схеме Ларионова.

Схема нарисована на рисунке 1, где А, В, С- фазы трехфазной системы.



Д1-Д6 -полупроводниковый диоды, $\sim U$ - постоянное выпрямительное напряжение, установлено между линейным напряжением ($U_A=U_B=U_C=U_F$) напряжениями постоянными - $U=1,64U_A(1)$, [1]

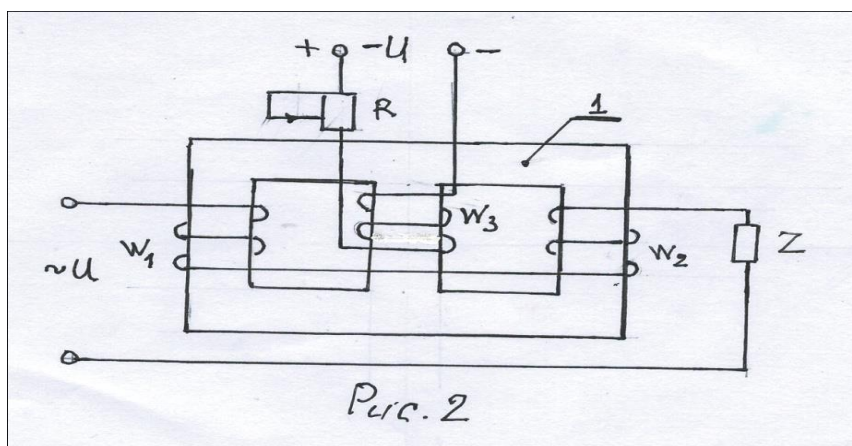
Управление (1) показывает, что схема, изображенная на рис. 1, имеет усилительное свойство. Однако, принцип усиления не рассмотрен в учебниках.

Усиления можно предложить следующим нетрадиционными, эвристическими научными идеями: когда шесть диод подключается по схеме Ларионова, каждый диод «возбуждается» и свою внутреннюю энергию добавок добавляет в диоды. При

этом энергия на выходе оказывается больше, чем на входе. Таким образом, в схеме наблюдаем усилительный эффект.

Следующий эффект – принцип усиления на магнитном усилителе.

Схема магнитного усилителя показано на рисунке 2. где 1- сердечник как в трансформаторе; W_1, W_2 - рабочие обмотки последовательно включаются с нагрузкой Z , W_3 -обмотка управления последовательно включается с сопротивлением R . Когда W_1, W_2, W_3 питаются соответствующими напряжениями сердечника 1 из состояния ферромагнита (обыкновенное железо) переходит в состоянии электромагнита.



То есть железо «возбуждается» и сердечник внутренней энергии дает в добавок поступающему электрическую энергию. Магнитный поток пересекает обмотку, там наводит электродвижущую силу. С регулированием постоянного напряжения регулируем падение напряжения на сопротивление Z . Усилительный эффект получается с добавлением

внутренней энергии сердечника с поступающими энергиями из сети.

Следующий эффект принцип возникновения ферро - резонанса

Схема показано на рисунке 3 где L-катушки с ферромагнитным сердечником; С-конденсатор бумажный. Когда последовательно включенному L и

С питают переменным напряжением, падение напряжения на $L(U_L)$ и $C(U_C)$ значительно больше,

чем $U_L \gg \sim U$ или $U_C \gg \sim U$. В схеме возникает усиленный эффект.

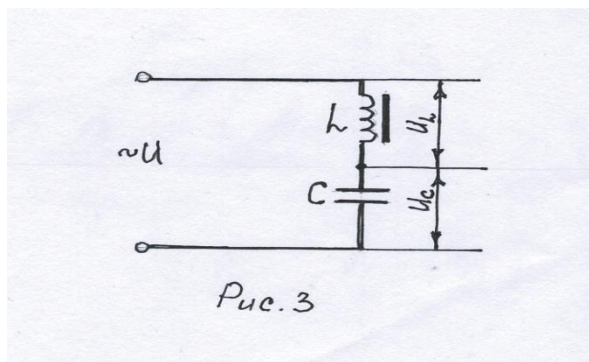


Рис. 3

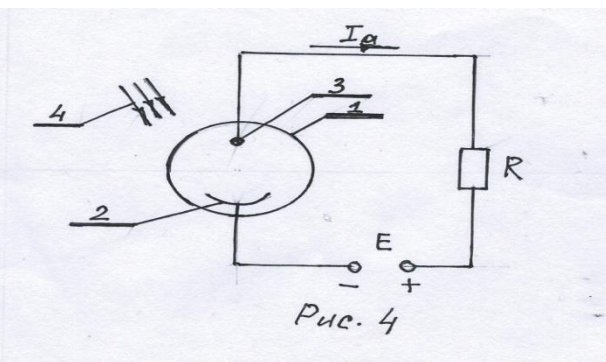


Рис. 4

Этот процесс объясняется тем, что магнитное поле на катушке возбуждает ферромагнитный сердечник, а сердечник часть своей внутренней энергии дает общей схеме. Резонансное явление получается в результате обмена энергии из электрического поля на энергию магнитного поля и наоборот.

Следующий эффект – принцип горения каменного угля

Каменный уголь будет гореть с помощью растопки и так называемого «ичеги». Пламя горящего ичеги возбуждает внутреннюю энергию каменного угля. «Ичеги» (название на кыргызском языке) есть дерево определенной массы, выделяющий достаточную энергию, который способен возбудить внутреннюю энергию каменного угля. «Ичеги» не только сжигает каменный уголь, его можно применять для плавки металла, для перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое.

Следующий эффект – принцип возникновения электромагнита.

Путь превращения ферромагнитного материала в постоянный магнит очень долго и длительно. Введены много новых понятий, таких как «поток», «индукция», «коэрцитная сила» ит.д. Возбужденное состояние ферромагнитного материала, применимого как сердечник катушки, в теории превращения в электромагнит не оговорено. Сердечник обладает сильной магнитной индукцией, соответственно большой притягательной силой. Здесь качеством возбудителя является катушка индуктивности, через которую проходит электрический ток. Когда сердечник возбуждается, ферромагнитный сердечник отдает части своей внутренней энергии и возникает притягательная сила.

Следующий эффект - принцип возникновения внутреннего фотоэффекта.

Внутренний фотоэффект возникает на фотоэлементе. Схема включения дана на рисунке 4, где -стеклянный баллон (фотоэлемент); 2-фотокатод; 3-фотоанод; 4-световой поток.

Принцип работы: Когда световой поток отсутствует, между фото анодом и катодом бесконечное большое сопротивление, и анодный ток равен нулю. Когда световой поток падает на поверхность в катод, появляется фотоэлектронная эмиссия. Между фотокатодом и анодом возникает электро-

проводимость и появляется анодный ток I_a . Соответственно появляется напряжение на сопротивлении R . Здесь в качестве возбудителя является световой поток. Падая на поверхность фотокатода, световой поток вызывает возбуждение на фотокатод и появляется фотоэлектронная эмиссия.

Следующий эффект – на живом организме.

Выше мы перечислили роль «возбуждений» на неживом предмете.

Оказывается, эффект «возбуждения» присутствует и на живом организме, и играет огромную роль при появлении нового живого организма.

В качестве примера возьмем супружескую жизнь мужчины (мужа), женщины (жены). В брачной ситуации муж приходит к жене в возбужденном состоянии и возбуждает в свою очередь жены. В результате у мужа выделяется внутренняя энергия – семя (сперма), а также у жены тоже – яйцеклетка. При совместном взаимном влиянии появляется зачаток будущего человека.

Таким же образом эффект «возбуждения» сопровождает любой живой организм, в котором имеются противоположенные признаки пола, являющиеся источником размножения.

Следующий эффект - фотосинтез

Фотосинтез – это взаимодействие между живыми зелеными растениями с лучистой энергией солнца. Здесь в качестве возбудителя является фотон – квант электромагнитного излучения солнечной энергии. Фотон, падая на поверхность лепестка зеленого растения, возбуждает его, в результате рождается кислород. Ежегодно в результате фотосинтеза на Земле выделяется 200 млрд тонн кислорода O_2 .

Заключение

На основании выше перечисленных эффектов можно сделать вывод альтернативные, эвристические идеи новизны:

-не живой преобразователь, у которого имеется усиленная энергия, занимает место предложенного понятия «возбудитель-возбуждение». А также появляется новизна в термодинамике, что коэффициент полезного действия (КПД) больше единицы. На выходе энергия равна энергии входа плюс часть внутренней энергии.

-для живых организмов также имеет место предложенное понятие «возбудитель-возбуждение», так как они являются источником жизни и размножения.

- на основе предложенного понятия «возбудитель-возбуждение» происходит процесс фотосинтеза, являющейся основной пищей для всего живого организма – кислорода.

Литература.

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника.-М: 1983
2. Основы теории электрических аппаратов. Под.редакции Таева И.С. М:1987
3. Жеребцов И.П. Основы электроники.-Л, 1985
4. Урсейтов О.У. Единые теории гравитационных и электромагнитных полей. //Наука и новой технологии, №2. 2000,-Б.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И ПУТИ ПРОФИЛАКТИКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ГОРОДА БЕРЕЗНИКИ

Шевчук Вячеслав Владимирович

канд. мед. наук, доцент кафедры факультетской терапии № 2 и профессиональных болезней с курсом профболезней ФДПО ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А.Вагнера» Минздрава России

Кашкина Наталья Викторовна

канд. мед. наук, доцент кафедры факультетской терапии № 2 и профессиональных болезней с курсом профболезней ФДПО ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А.Вагнера» Минздрава России

THE PREVALENCE AND WAYS OF PREVENTION OF OCCUPATIONAL DISEASES IN THE CHEMICAL INDUSTRY IN BEREZNIKI

Shevchuk V. V.

cand. of medical sciences, associate professor Department of faculty therapy № 2 and occupational diseases FSBEI HE Academician Ye.A.Vagner PSMU MOH Russia

Kashkina N. V.

cand. of medical sciences, associate professor Department of faculty therapy № 2 and occupational diseases FSBEI HE Academician Ye.A.Vagner PSMU MOH Russia

АННОТАЦИЯ.

На примере крупных промышленных предприятий химической промышленности проведен анализ заболеваемости, связанных с профессиональной деятельностью. Установлено, что факторы рабочей среды негативно влияют на здоровье работников, с превалированием патологии органов системы дыхания, слуха, опорно-двигательного аппарата. Определение риска поражения органов-мишеней позволяет выделить приоритеты в проведении профилактических мероприятий.

ABSTRACT

On the example of large industrial enterprises of chemical industry the analysis of morbidity associated with professional activities. It is established that the factors of the working environment adversely affect the health of workers, with the prevalence of pathology of the respiratory system, hearing, musculoskeletal system. The definition of high-risk lesions of the target organs allows you to allocate priorities in the implementation of preventive measures.

Ключевые слова: профессиональная заболеваемость, химическая промышленность, вредные условия труда.

Key words: occupational morbidity, chemical industry, harmful working conditions.

Проблема сохранения трудового долголетия работников промышленных предприятий в последние годы рассматривается как ключевая задача медицины труда [3]. Несмотря на реализацию программы Президента РФ «Здоровье работающего населения России на 2004-2015 гг.» можно констатировать, что показатели по условиям труда и профессиональное здоровье работников далеки от оптимальных цифр. В последние годы в РФ уровень профессиональной заболеваемости работающих во вредных и опасных условиях труда был максимальным на предприятиях, занимающихся добычей и переработкой полезных ископаемых, в частности,

на предприятиях химической промышленности. Здоровье работающих граждан должно рассматриваться как стратегически важный компонент экономической политики государства. На современном этапе экономические потери общества от утраты профессиональной пригодности по медицинским причинам обусловлены, в первую очередь, общесоматической патологией, а не профессиональными заболеваниями [2].

В промышленно-развитом городе Пермского края Березники расположен ряд градообразующих предприятий химической перерабатывающей промышленности, таких как? акционерное общество

«Объединенная химическая компания «УРАЛХИМ» (АО «ОХК «УРАЛХИМ») – одна из крупнейших компаний на рынке минеральных удобрений в Российской Федерации, СНГ и Восточной Европе. Компания является российским лидером в производстве аммиачной селитры, а также занимает второе место в России по объемам производства аммиака и азотных удобрений. Компания «УРАЛХИМ» располагает мощностями по производству более 3 млн тонн аммиака, 3 млн тонн аммиачной селитры, 1,2 млн тонн карбамида и 1 млн тонн фосфорных и сложных удобрений в год. В 2018 году предприятия компании «УРАЛХИМ» произвели 27,6% аммиачной селитры, 16,9% российского аммиака, 15% карбамида, а также другие удобрения. Акционерное общество «Березниковский содовый завод» (АО «БСЗ») - производит соду кальцинированную техническую марки «А» и марки «Б» с показателями качества согласно требований ГОСТ 5100-85. Производство кальцинированной соды марки «Б» осуществляется по аммиачному методу путем насыщения водного раствора хлорида натрия аммиаком и углекислым газом с образованием бикарбоната натрия, который затем подвергается кальцинации, при которой образуется натрия карбонат – сода кальцинированная. Кроме основного продукта – соды кальцинированной на АО «БСЗ» вырабатываются: средства моющие технические СМ-15, СМ-37, средство чистящее «Посудомой», известь негашеная комовая, известковое молоко, флюсовые известняки и щебень различных фракций. Филиал «Азот» АО «ОХК «УРАЛХИМ» – единственное предприятие России, выпускающее высшие алифатические амины, кристаллический нитрит-натрия, натриевую и калиевую селитры. Корпорация АВИСМА – это металлургическое и химико-металлургическое производство, которое включает в себя различные направления, а именно: электролиз магния, электроплавка в руднотермических печах, операции хлорирования и сепарации, восстановления и дистилляции титана. Сочетание неблагоприятных факторов производственной среды приводит к изменениям со стороны функционального статуса органов и систем, способствуя формированию болезней, связанных с профессиональной деятельностью. Химическая промышленность занимает одно из ведущих мест по химической опасности. Ухудшение условий труда сказалось и на показателях профессиональной заболеваемости, которые по данным Роспотребнадзора в химической промышленности за последние 5 лет превышали среднероссийские и в отдельные годы достигали 3,21 на 10000 работников [1]. При анализе структуры профессиональной патологии на вышеуказанных предприятиях, установлено, что преобладают заболевания органов дыхания (44,9%), заболевания кожи (24,7%) и производственный травматизм (6%). В период с 2007 года случаи профессиональных заболеваний, и заболеваний связанных с профессией с поражением органов дыхания выявлены в 2007 году у 20 работников в возрасте 20-45 лет (42,7% от общего числа забо-

леваний), с поражением органов слуха у 15 работников в возрасте 25-55 лет (36,8% от общего числа заболеваний), в 2009 году у 15 работников в возрасте 35-50 лет выявлены заболевания опорно-двигательного аппарата (35,7% от общего числа заболеваний), у 5 работников в возрасте 45 лет диагностирована вибрационная болезнь (16,4% от общего числа заболеваний), в 2010 году зафиксировано наибольшее число случаев производственного травматизма – 30 работников в возрасте 20-50 лет (4% от общего числа заболеваний), в 2015 году установлены случаи хронических интоксикаций у 5 работников в возрасте 30-65 лет (5,2% от общего числа заболеваний), в 2017 году у 12 работников в возрасте 20-65 лет выявлены заболевания кожи (24,7% от общего числа заболеваний) [5]. Основными причинами были некачественное проведение обучения по вопросам охраны труда; отсутствие контроля за соблюдением технологических процессов и использованием средств индивидуальной защиты, несоблюдение требований инструкций правил, норм, стандартов, несовершенство технологических процессов. Основными причинами профессиональных заболеваний могут быть интенсивное кратковременное или длительное воздействие вредных факторов в результате аварии, неправильной организации производственного процесса, нарушения нормального технологического режима, неисправности или отсутствия коллективных средств защиты, неиспользования или неправильного использования средств индивидуальной защиты, других причин [4].

Различная частота превалирования той или иной патологии в различные периоды объясняется особенностями производственного процесса (производство той или иной продукции со спецификой производственных процессов) и запаздыванием внедрения и проведения превентивных профилактических мероприятий, направленных на профилактирование той патологии, риск которой наиболее велик для конкретного работника, связанного с конкретной производственной деятельностью. На работников современных химических производств воздействует комплекс факторов рабочей среды и трудового процесса (химический, шум, тяжесть и напряженность трудового процесса, неблагоприятный микроклимат). Наиболее существенным по гигиенической значимости в изученных производствах являлся химический фактор, представленный сложным комплексом вредных веществ 1-4 класса опасности с различным характером действия на организм. Условия труда на современных химических производствах являются потенциально опасными для работников и служат непосредственной причиной как острых, так и хронических профессиональных заболеваний. [1]. Например, производство кальцинированной соды марки «Б» состоит из следующих стадий: добыча и подготовка известняка; обжиг известняка в известково-обжигательных печах с получением углекислого газа и извести; гашение извести с получением известкового молока; очистка раствора хлорида натрия от солей кальция

и магния; абсорбция очищенного рассола аммиаком и частично углекислым газом с образованием аммонизированного рассола; карбонизация аммонизированного рассола с образованием суспензии бикарбоната натрия; фильтрация бикарбоната натрия; кальцинация бикарбоната натрия; регенерация аммиака и углекислого газа паром и известковым молоком. На каждом из этапов производства требуется свой комплекс профилактических мероприятий с учетом преобладающего воздействия вредных производственных факторов. Кроме того, существуют и субъективные факторы, такие как недостаточное качество периодических медицинских осмотров, с недооценкой специфического воздействия производственных факторов на работника, страх потери рабочего места с «маскировкой» и сокрытием жалоб, негативное отношение со стороны администрации к выявлению профессиональной патологии.

Помимо модификации и внедрения непрерывных технологических процессов, комплексной механизации и автоматизации, герметизации источников вредных химических веществ для нивелирования негативного влияния на здоровье работников факторов производственной среды необходимо использовать индивидуальный комплекс реабилитационных мероприятий направленных на предупреждение прогрессирования и рецидивов заболевания. Также перспективной представляется методика определения рисков развития заболеваний у работников химических предприятий.

Список литературы

1. Валеева Э.Т. Научное обоснование системы охраны здоровья работников химической промышленности на основе оценки профессионального риска. Дисс... докт. мед. наук. М., 2013.- 338 с.
2. Гурвич В.Б., Шагин А.С., Газимова В.Г., Плотко Э.Г., Устюгова Т.С. Причины утраты профессиональной пригодности для работы во вредных и (или) опасных условиях труда. Медицина труда и промышленная экология. 2019;(2):107-112.
3. Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Прокопенко Л.В., Шиган Е.Е. Реализация Глобального плана действий ВОЗ по охране здоровья работающих в РФ. Медицина труда и промышленная экология. 2015; 9: 4-10.
4. Смирнякова В.В. О долгосрочной программе обеспечения промышленной и экологической безопасности в угольной отрасли// Записки Горного института. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Т. 207; СПб, 2014:155-158.
5. Яндемиров А.С. Структура профзаболеваний и пути их профилактики в горнодобывающей промышленности на примере предприятий Березников// Молодая наука – практическому здравоохранению: тезисы докладов 91-й итоговой научно-практической конференции студентов, ординаторов, аспирантов, молодых ученых (до 35 лет) ПГМУ имени академика Е.А.Вагнера / ФГБОУ ВО ПГМУ им. академика Е.А.Вагнера Минздрава России. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018.- С.262.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DENDRITIC POROUS SILICON AS A HEAVY METAL REMOVAL (COPPER ELEMENT)

Marwa Nabil¹,
Hussien A. Motaweh²

¹Associated professor-Advanced Technology and New Materials Research Institute,
City for Scientific Research and Technology Applications, Alexandria, Egypt

²Prof.Dr. -Department of Physics, Faculty of Science, Damanhour University, Damanhour, Egypt

ANNOTATION.

Using prepared dendritic porous silicon powder as a promise adsorbed material for heavy elements (i.e. Cu) from wastewater. The maximum removal percent of Cu (II) reached 1383.9 mg/g and 92.5%, respectively, at an initial Cu (II) concentration of 200 mg/L, adsorption time of 10 min.

АННОТАЦИЯ.

Использование приготовленного дендритного пористого порошка кремния в качестве перспективного адсорбированного материала для тяжелых элементов (т.е. Cu) из сточных вод. Максимальный процент удаления Cu (II) достиг 1383,9 мг / г и 92,5% соответственно при начальной концентрации Cu (II) 200 мг / л, время адсорбции 10 мин.

ABSTRACT.

New and inexpensive dendritic Porous Silicon powder (dendritic PS) powder is prepared by alkali chemical etching using ball milling technique and is subsequently investigated as an adsorbent in batch systems for the adsorption Cu (II) ions in an aqueous solution. The optimum conditions for the Cu (II) ion adsorption capacity of the dendritic PS powder are studied in detail by varying parameters such as the initial Cu (II) concentration, the solution pH value, the adsorption temperature and contact time. The results indicated that the maximum adsorption capacity and the maximum removal percent of Cu (II) reached 1383.9 mg/g and 92.5%, respectively, at an initial Cu (II) concentration of 200 mg/L, adsorption time of 10 min and no effect of the solution pH and adsorption temperature.

Keywords: dendritic morphology, porous silicon, heavy metals, copper element, water treatment.

Ключевые слова: морфология дендритов, пористый кремний, тяжелые металлы, медный элемент, водоподготовка.

Introduction

Porous silicon (PS) presents an artificially structured material formed by alkali stain etching of commercial polycrystalline silicon powder. The variety of the preparation conditions provides the growth of PS layers characterized by a wide range of pore sizes and structural types [6, p. 10]. The dendritic shape of PS is highly branched constructed with a well-defined symmetrical structure consisting of a central core, repeating units, and terminal functional groups while hyperbranched materials share analogous structural features but are non-symmetric. [1, p. 10]

The physicochemical properties of PS could be quite dissimilar to those of bulk silicon and are strongly affected by the type of surface orientation of the initial silicon powder. PS has exceptional properties such as the extremely high effective surface area, large adsorption capacity and unique optical properties, especially the dendritic shape of PS. [4, p. 10]

Nowadays, fast urbanization, industrialization, and unplanned activities of human beings have increased the environmental pollution especially air and water. These are generally caused by effluents from various industries and a major part is constituted by the dye industries. [10, p. 10]

The presence of heavy metals in wastewater, resulting from mining operations, various manufacturing industries, leather tanning, paper production, fertilizers, photographic materials, explosives, is a major environmental concern. The admissible levels of heavy metals

are regulated in most countries, during the wastewater treatment. With water playing a crucial role in a sustainable development, the removal of heavy metals from contaminated waters has been the subject of many studies [2, p. 10]. The development of novel Sorbents, able to remove organic or heavy metal pollutants from wastewaters, represents an intensive and popular research field during the last years. [3, p. 10]

Adsorption, on the other hand, has emerged as a potential alternative to conventional physicochemical technologies in waste-treatment facilities. Adsorption is an effective separation process that has advantages in terms of cost, flexibility and simplicity of design, and ease of operation compared to other techniques. Adsorption also does not result in the formation of harmful substances. [7, p. 10]

The presence of the copper element (as a heavy metal) at a higher rate than allowed globally leads to change in the nasal mucous membranes, brain damage, demyelization, renal disease, and copper deposition in the cornea. It had to strive to remove it from the water, as shown in this study. The present study includes the adsorption studies on Cu using dendritic PS powder. The efficiency of this adsorbent is studied and maximum adsorption and lowest equilibrium time for this adsorbent is recorded.

Materials & Methods:

- *The dendritic PS Powder Preparation as an Adsorbent Material*

The ball mill technique is used in this work, because of its simplicity. To prepare (dendritic PS) powder, we used a commercially available Si-powder [Silicium, Pulver – 99%]. It is prepared via wet alkali chemical etching. Briefly, appropriate amount of Si powder is dispersed in a solution of KOH, n-propanol and distl. H₂O. The resulting powders are filtrated and washed, and then dried overnight at 40°C to obtain PS powder. The structure of producing powder is characterized by XRD (X-ray 7000 Shimadzu diffractometer). XRD equipped with a Cu anode operated at 40 kV and 30 mA; the samples were scanned at a rate of 4 °/min. The PS-powder morphology is investigated using SEM (Scanning electron microscopy, JEOL (JSM 5300)).

Preparation of Metal Ion Solutions

The Cu is synthesized using standard methods. The double distilled water was used for all the analyses. The concentrations of the metal ions are estimated using UV-Visible Spectrophotometer Double Auto cell (Labomend. INC, USA). Standard Copper Solution: Cu solution is prepared by using Copper sulfate; 0.15 g of Copper sulfate is taken into a 1000 ml volumetric flask.

Batch Procedure for Cu Element Removal

Batch Equilibrium Method: All experiments are carried out at room temperature (27 °C) in batch mode. Batch mode is selected because of its simplicity and reliability. The experiments are carried out by taking 40 ml metal ion sample in a 100 ml Erlenmeyer flask and after pH adjustments; a known quantity of solution dried adsorbent (PS) is added. The flasks are agitated at 200 RPM for predetermined time intervals using a mechanical shaker until equilibrium conditions are reached. After shaking, the suspension is allowed to

settle. The residual biomass adsorbed with metal ions, the filtrate is collected and subjected for metal ion estimation using UV- Visible Spectrophotometer Double Auto cell (Labomend. INC, USA). The values of percent metal uptake by the sorbent (Sorption efficiency) and the amount of metal ion adsorbed has been calculated using the following relationships: [8, p. 10]

$$\text{Sorption efficiency} = \frac{c_i - c_f}{c_i} \times 100 \text{ Eq.1}$$

$$\text{Amount Adsorbed } (Q_e) = \frac{c_i - c_f}{w} \times V \text{ Eq.2}$$

Where, C_i= Initial concentration of metal ion in the solution (mg/L), C_f = Final concentration of metal ion in the solution (mg/L), W = Weight of adsorbent (g), V = Volume of solution (L) and Q_e =Amount of metal ion adsorbed per gram of adsorbent.

Results & Discussion:

- Adsorbent Powder Study

The XRD pattern of fabricated PS powder, before using it as an adsorbent, is shown in FIGURE 1. All the diffraction peaks can be well indexed to the cubic phase PS reported in (JCPDS Card No. 01-079-0613 and 00-027- 1402). Before removal process, the strongest peak is appeared at $2\theta = 28.22^\circ$ correspond to (111), and other peaks are appearing at $2\theta = 47.173^\circ$, 56.02° and 69.12° , which correspond to (220), (211) and (400), respectively. No diffraction peaks arising from any impurity can be detected in the pattern confirming that high purity PS powdered material has been obtained. Either after the Cu-removing process using PS powder, noticeable, the appearance of the diffraction peaks at $2\theta = 30.48^\circ$, 31.6° and 38.16° arising from the Cu (110), (111) and Cu (200) planes (JCPDS Card No. 00-001-1241 and 00-001-1142), respectively.

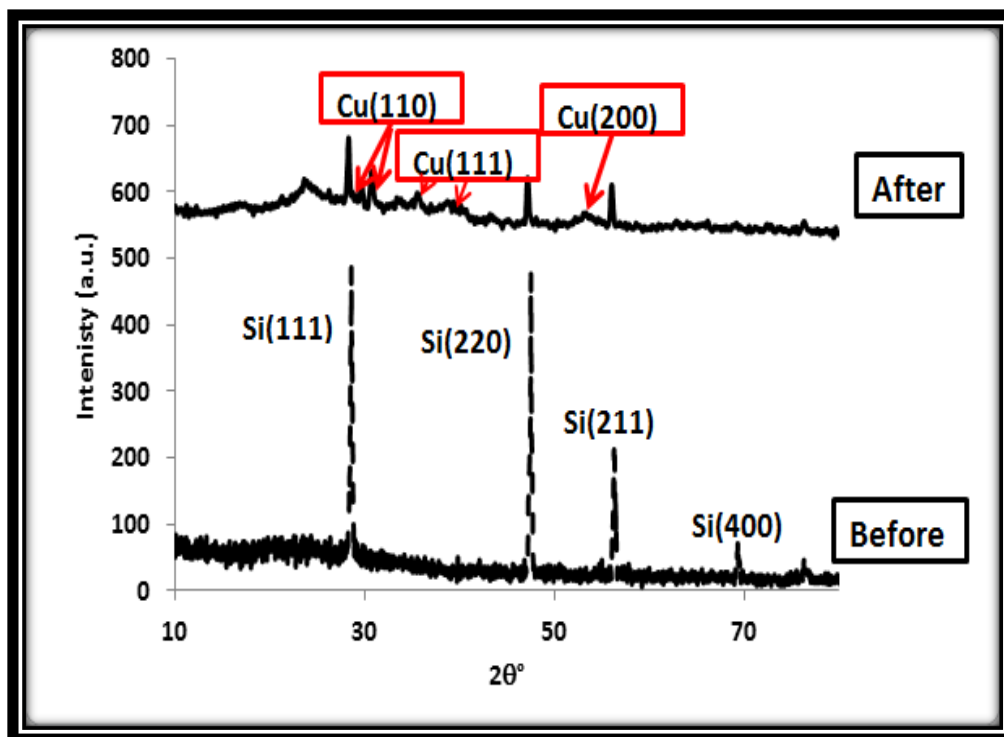


Figure 1. X-ray diffraction patterns of (a) PS powder; (b) adsorbed Cu on the PS powder.

Figure 2 shows the surface morphology of PS powder. The dendritic shape of PS surface is recorded

in figure 2.a, that has many active sites of adsorption process as a result of high surface area. The Cu particles

appear on the dendritic PS surface, as shown in figure 2.b, the Cu particle size on the dendritic PS surface is in the range 0.1-0.23 μm .

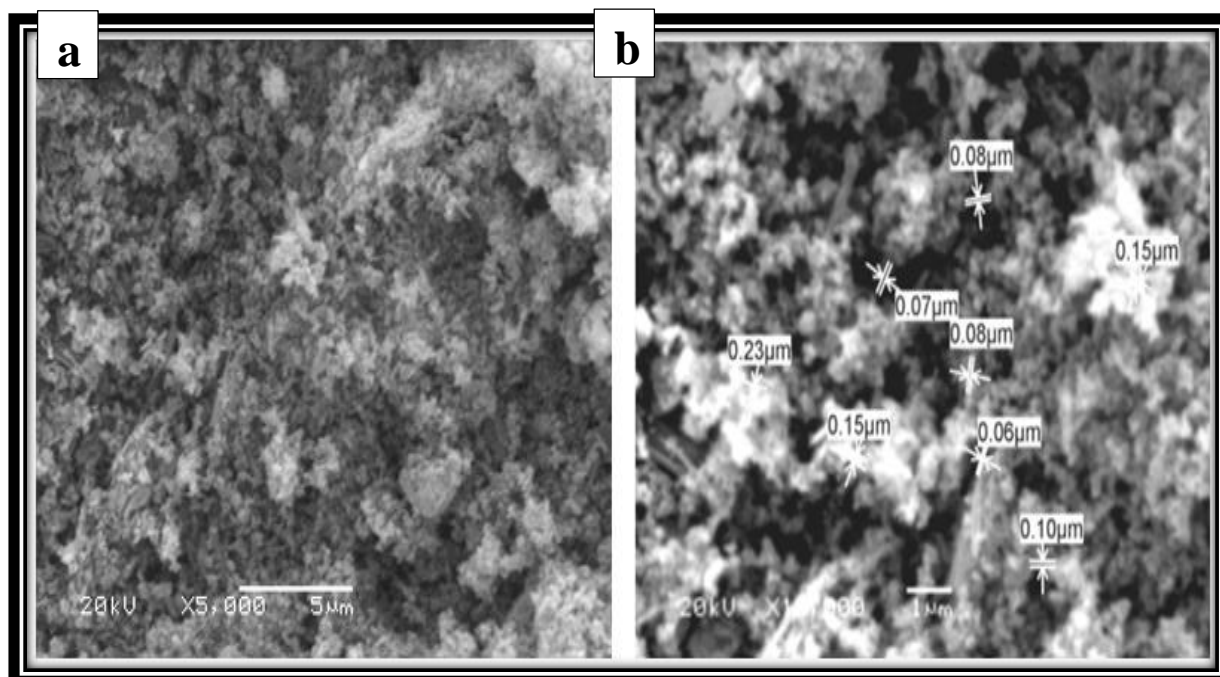


Figure 2. SEM micrographs of (a) dendritic PS powder before adsorption; (b) adsorbed Cu on the dendritic PS powder.

- Adsorption Study

Uptake of the Cu (II) by PS as a function of contact time in different Cu concentrations; as it can be seen, in all of the Cu concentrations (30, 50, 100, 200 ppm), removal process took place. Cu (II) is removed faster; it exhibited a subsequent removal until equilibrium is reached. The main reason for the appearance of rapid process, the plenty active sites on the dendritic PS powder and gradual occupancy of these sites causes of emerging [9, p. 10]. In fact Cu ions, form a molecule (actually ion) layer on the adsorbent surface. After that, the uptake rate is controlled by the rate at which the Cu (II) ions are transported from the exterior to the interior sites of the dendritic PS powder particles.

- Effect of initial Cu (II) concentration on adsorption:

The initial Cu (II) concentration serves as an important driving force for overcoming mass transfer resistance of Cu (II) between the aqueous and solid phases. The effects of different initial Cu (II) concentrations on the dendritic PS adsorption capacity are shown in FIGURE 3. The adsorption capacity of the

dendritic PS powder toward Cu (II) is directly proportional to the initial Cu (II) concentrations at a constant value of dendritic PS dose. As shown in figure 3.b, the adsorption capacity value at dendritic PS dose = 0.07 gm/l is the best one (1383 mgm/gm) at 10 min.

Noticeable, the removing percent of Cu (II) at several concentrations is nearly similar values at a time (10 min). Studies are carried out to obtain optimum conditions for the adsorption of Cu (II) using 0.09 g of adsorbent (dendritic PS) in a 1L solution of 50 ppm of Cu (II) concentration adjusted to different contact time values from 2 to 10 min, which produce Cu removal percent is 92.5% and the value of the adsorption capacity of PS is 513.9 mg/g. This result is observed because higher Cu (II) concentrations result in an increased concentration gradient, which, leads to a higher probability of collision among Cu (II) ions and the active adsorption sites on the PS powder, thereby increasing adsorption capacity. With further increases in Cu (II) concentration than 50 ppm, the adsorption capacity remained constant because the active adsorption sites became saturated [7, p. 10], as shown in figure 4.

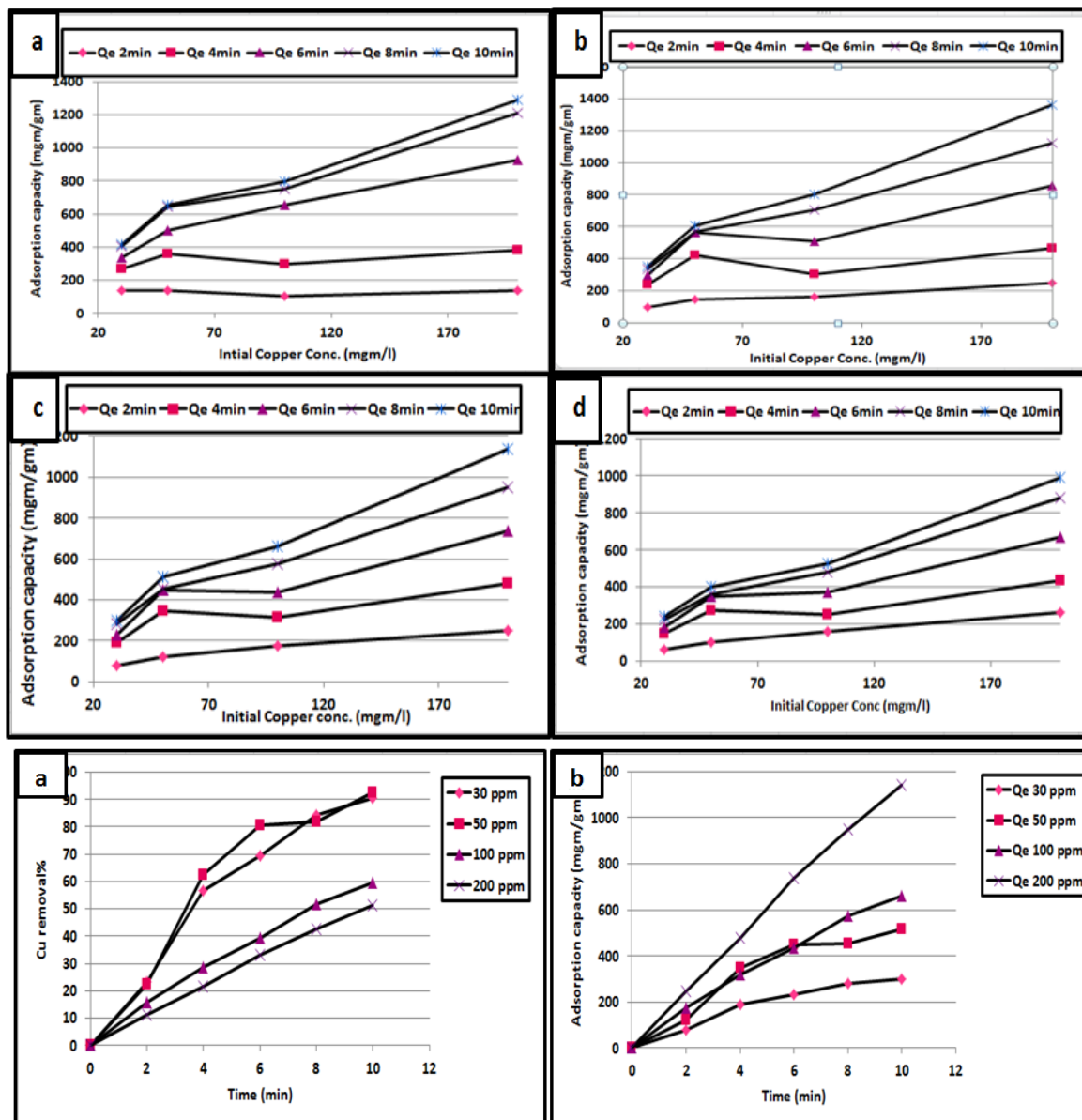


Figure 3. The effect of the initial copper concentrations on the values of the adsorption capacity value of PS each gm; initial copper concentration (Cu_{conc}) = (a) 0.05; (b) 0.07; (c) 0.09 and (d) 0.12 gm/l.

Figure 4. At the dendritic PS powder dose 0.09 g/L, a) Cu removal concentration percent as a function of contact time (min), b) Effect of contact time on desorption capacity of NPS.

Effect of contact time on adsorption:

The effects of different adsorption times on the dendritic PS powder adsorption capacity toward Cu (II) are shown in FIGURE 4. At prolonged adsorption times, the Cu (II) adsorption capacity of the dendritic PS powder initially increased rapidly and then decreased slowly because the surface of the dendritic PS powder is covered with a large quantity unsaturated functional groups. Cu (II) ions are adsorbed by diffusing into the microporous adsorbent (dendritic PS); thus resulting in a sharp adsorption equilibrium that decreased with the saturation of the functional groups on the dendritic PS powder surface. [5, p. 10] Therefore, the optimum contact (adsorption) time is 10 min, the studies are carried out to obtain optimum conditions for the adsorption of Cu (II) using 0.09 g of adsorbent (dendritic PS) in a 1L solution of 50 mg/L of Cu (II) concentration adjusted to different contact time values

from 2 to 10 min, which produce Cu removal percent is 92.5 % and the value of adsorption capacity of dendritic PS is 513.9 mg/g.

In addition, the effect of acidity and temperature on the adsorption value of copper is studied. It has been shown that by changing the pH value and temperature values, there is no obvious effect at the varying process of the Cu adsorption values, which are the same as in case of the room temperature and pH = 7.

Conclusion:

A new dendritic PS powder is prepared by alkali chemical etching using the ball mill technique. The results of this study show that the synthesized dendritic PS powder can be used effectively for the adsorption of Cu (II) ions from aqueous solutions. The maximum Cu (II) ion adsorption capacity for the dendritic PS powder reached to 1383 mg/g under an initial Cu (II) concen-

tration 200 mg/L and adsorption time is 10 min, in addition, no effect of pH and at adsorption temperature. Only using 0.09 g of adsorbent (dendritic PS) in a 1L solution of 50 mg/L of Cu (II) concentration at contact time 10 min, which produce Cu removal percent is 92.5 %.

Bibliography:

- [1] Arkas M., Tsiourvas D., Paleos C.M. Organosilicon dendritic networks in porous ceramics for water purification.: Chemical Materials, 2005. - 3439 p.
- [2] Avram A., Frentiu T., Horovitz O., Mocanu A., Goga F., Tomoaia-Cotisel M. Hydroxyapatite for removal of heavy metals from wastewater.: Studia Ubb Chemia, 2017. - 93 p.
- [3] Bekiari V., Lianos P. Poly (sodium acrylate) hydrogels as potential pH-sensitive sorbents for the removal of model organic and inorganic pollutants from water.: Global Nest Journal, 2010. - 262 p.
- [4] Hanna B., Sergey R., Paolo N., Marco B., Vitaly B. Optimization of chemical displacement deposition of copper on porous silicon.: Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2012. - 1 p.
- [5] Ho Y.S., McKay G., Wase D.A.J., Foster C.F. Study of the sorption of divalent metal ions on to peat.: Adsorption Science and Technology, 2000. - 639 p.
- [6] Kashyout ABEH, Nabil M. Production of high throughput nano-porous silicon (NPS) powder with different architectures.: Materials Chemistry and Physics, 2018. - 454 P.
- [7] Nabil N., Motaweh H.A. Porous silicon powder as an adsorbent of heavy metal (nickel): AIP Conference Proceedings, 2018. - 020005 p.
- [8] Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R., Ahmad A. Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust.: Journal of Hazardous Materials, 2009. - 969 P.
- [9] Sheha R.R. Sorption behavior of Zn (II) ions on synthesized hydroxyapatites.: Journal Colloid Interface Science, 2007. - 18 p.
- [10] Sinhal T., Ahmaruzzaman M. Green synthesis of copper nanoparticles for the efficient removal (degradation) of dye from aqueous phase.: Environmental Science and Pollution Research, 2015. - 1 p.

УДК 541.124.7

КИНЕТИКА ПРОЦЕССА АЦЕТИЛТИОМОЧЕВИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ НИЖНЕГО ГОРИЗОНТА ДЖИЖИКРУТСКОГО МЕТОРОЖДЕНИЯ

Холов Холмахмад Исроилович

*аспирант Института химии им. В.И. Никитина
Академии наук Республики Таджикистан, г. Душанбе*

Квятковская Лариса Викторовна

*кандидат химических наук, доцент
Таджикский национальный университет, г. Душанбе*

Самихов Шонавруз Рахимович

*доктор технических наук, главный научный сотрудник Института химии им. В.И. Никитина
Академии наук Республики Таджикистан, г. Душанбе*

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.3](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.61.3)

АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены полученные результаты экспериментальных и кинетических исследований по изучению общих закономерностей процесса растворения золота в кислых растворах ацетилтио мочевины с последующей разработкой технологии извлечения металлов из хвостов флотации включая кинетические закономерности протекания процесса, влияние продолжительности времени выщелачивания и влияние температуры на основе ацетил-тио мочевинового выщелачивания. На основе кинетических экспериментов и расчётов, определены порядок химической реакции, константа скорости реакции и энергия активации.

ABSTRACT

This article presents the results of experimental and kinetic studies on the general laws of the process of dissolution of gold in acid solutions of acetylthiourea, followed by the development of technology to extract metals from flotation tailings, including the kinetic laws of the process, the effect of temperature based on acetylthiourea leaching. Based on the kinetic experiments and calculations, the order of the chemical reaction, the reaction rate constant and the activation energy are determined.

Ключевые слова: ацетилтио мочевины, кинетика, температура, графический метод Вант-Гоффа, порядок химической реакции, константа скорости реакции и энергия активации.

Keywords: acetylthiourea, kinetics, temperature, graphical Vant-Hoff method, chemical reaction order, reaction rate constant and activation energy.

Ацетилтио мочевиновый выщелачивание применяется при выщелачивании хвостов флотации золото-сурьмяно-ртутных руд, является весьма сложным процессом [1, с. 7]. Проблемой данного способа является сложность подбора оптимальных

условий извлечения золота из продукта, удовлетворяющей требованиям технологического процесса [2, с. 35]. Поэтому для строгой оптимизации процесса необходимы кинетические исследования.

Результаты по выщелачиванию золота подробно освещены в соответствующих публикациях

[3, с. 22]. Поэтому здесь мы ограничимся лишь изложением главных выводов и рекомендаций, касающихся основных вопросов кинетики ацетилтиомочевинного выщелачивания золота из хвостов флотации, имея ввиду прежде всего возможность использования этого процесса.

Опыты проводились с хвостами флотации, содержание золота в которых – 1,8 г/т.

Экспериментальная часть

Сериями экспериментов изучена кинетика растворения золота в ацетилтиомочевинных растворах для определения зависимости скорости процесса от основных технологических параметров – концентрации H_2SO_4 , температуры и т.д. В связи с этим были проведены кинетические исследования.

В таблице 1 приведены экспериментальные данные растворения золота в ацетилтиомочевинных растворах при различных температурах. Представление интегральные кинетические кривые, отражающие зависимость степени извлечения золота от продолжительности ацетилтиомочевинного выщелачивания при различной концентрации сульфата железа, серной кислоты и pH среды. Условия проведения эксперимента: испытание проводилась в 1 %-ном растворе ацетилтиомочевинной в присутствии 1,38 % серной кислоты и 0,5 % трёхвалентного сульфата железа. Длительность время опытов 8 часов, pH среды – 1,2-6,0 [5, с. 86].

Таблица 1. Извлечение золото при ацетилтиомочевинном выщелачивании хвосты флотации нижнего горизонта Джижикрутского месторождения

Время, ч	Условия опыта						Концентрация Au в растворе, мг/л	Извлечение Au, %
	руда, г	вода, мл	$CH_3CONHCSNH_2$, г	H_2SO_4 (конц.), мл.	$Fe_2(SO_4)_3$, г	pH		
Начало а)								
	100	200	2	1,5	1,5			
2				1,0		5,8	0,165	19,4
4						6,1	0,174	20,5
6						5,8	0,175	20,6
8						5,8	0,177	20,8
Хвосты флотации после обжига при 200 °С б)								
	100	200	2	1	1			
2						5,3	0,144	16,9
4						5,3	0,152	17,9
6						5,8	0,168	19,8
8						5,8	0,166	19,5
Хвосты флотации после обжига при 400 °С в)								
	100	200	2	1	1			
2						5,6	0,162	19,0
4						5,9	0,173	20,3
6						6,2	0,181	21,3
8						6,0	0,184	21,6
Хвосты флотации после обжига при 600 °С г)								
	100	200	2	1	1			
2						6,2	0,338	39,8
4						6,4	0,379	44,6
6						6,2	0,381	44,8
8						6,8	0,384	45,2
Хвосты флотации после обжига при 600 °С д)								
	100	200	2	20	1			
2						1,6	0,631	74,2
4						1,4	0,663	78,0

6						1,4	0,700	82,3
8						1,2	0,708	83,3
Хвосты флотации после обжига при 600 °С + обработка H ₂ SO ₄ е)								
	100	200	2	20	1			
2						2,4	0,648	76,2
4						2,8	0,685	80,6
6						2,6	0,730	85,9
8						2,6	0,732	86,1

Как видно из рисунка 1 и таблица 1 с повышением температуры, уменьшением pH среды и обработка с серной кислотой в ацетилтиомочевинных растворах скорость растворения золота возрастает. Степень извлечения возрастает от 45,2 до 86,1 %.

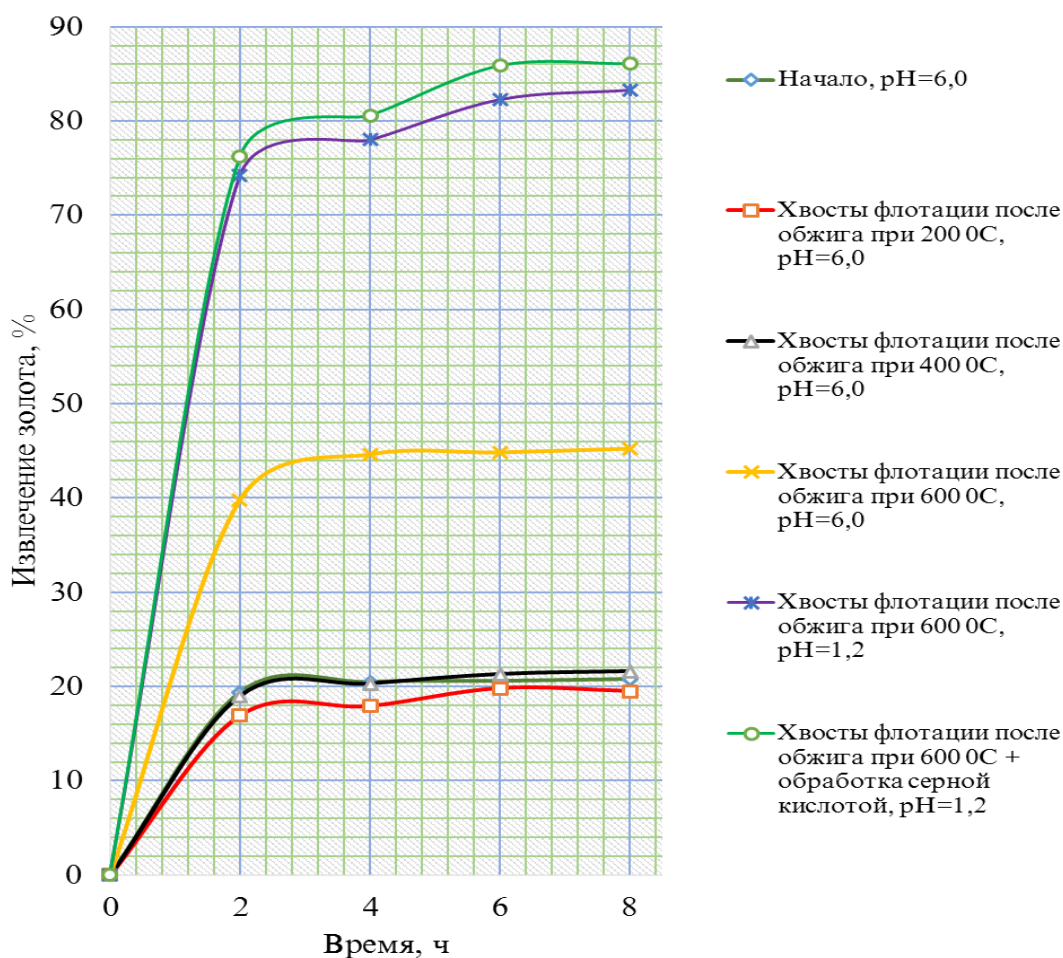


Рисунок 1. Зависимость процентного извлечения золота от продолжительности выщелачивания

Для выяснения механизма химической реакции и расчета константы скорости обязательно надо знать порядок реакции по реагирующим веществам и суммарный порядок данной реакции. Существуют специальные экспериментальные приемы, позволяющие определять, как порядки по отдельным компонентам, так и общий порядок реакции [4, с. 12].

Воспользуемся данные таблицы 1 и рассчитаем n для разных промежутков времени. Для этого необходимо рассчитать $\text{tg } \alpha_1$ и $\text{tg } \alpha_2$.

Для определения порядка реакции используем графический метод Вант-Гоффа, который позволяет определить порядок реакции по уравнению

$$n = \lg \frac{g_1}{g_2} / \lg \frac{a_1}{a_2}.$$

Таблица 2. Таблица порядка реакции по методу Вант – Гоффа

№ таблицы	$\text{tg } \alpha_1$	$\text{tg } \alpha_2$	a_1	a_2	n
1	0,17	0,169	79,5	79,4	2,6
2	0,232	0,230	80,2	80,1	3,7
3	0,9	0,6	81	80,15	3,8
4	0,608	0,6	55,4	55,2	2,5
5	0,988	0,922	17,7	17,4	3,33
6	0,072	0,71	14,1	13,9	2

Порядок химической реакции, рассчитанные по экспериментальным данным, близки по значению, следовательно, данная реакция подчиняется уравнению для реакций третьего порядка.

Обсуждение результатов для третьего порядка:

Порядок реакции может выражаться как целыми числами 0,1,2,3, так и дробными [6, с. 74]. Дробные порядки всегда служат при знаком сложности и многостадийности изучаемой реакции.

Для реакций третьего порядка скорость реакции пропорциональна произведению концентраций трех реагирующих веществ.

Рассмотрим более простой случай, когда концентрации всех реагирующих веществ равны, то есть $a=v=c$. В этом случае

$$\frac{dx}{dt} = k_3(a-x)^3. \quad (1)$$

Исходя из формулы (1)

$$\frac{1}{(a-x)^2} = 2kt + \frac{1}{a^2} \quad (2)$$

Последнее выражение служит для определения константы скорости реакции третьего порядка при равенстве концентраций реагирующих веществ друг другу. Кинетическая кривая, представленная в координатах $1/(a-x)^2$ по уравнению (2), должна преобразоваться в прямую линию с тангенсом угла наклона, равным $2k_3$. На таблицах 3 и рисунок 3 зависимости $1/(a-x)^2$ от t хорошо показана.

Таблица 3. Таблица определение порядок реакции

№	(100-x)	$\frac{1}{(a-x)^2}$	τ	№	(100-x)	$\frac{1}{(a-x)^2}$	τ
а)				б)			
1.	80,6	$1,539 \times 10^{-4}$	2	1.	83,1	$1,448 \times 10^{-4}$	2
2.	79,5	$1,581 \times 10^{-4}$	4	2.	82,1	$1,482 \times 10^{-4}$	4
3.	79,4	$1,587 \times 10^{-4}$	6	3.	80,2	$1,554 \times 10^{-4}$	6
4.	79,2	$1,593 \times 10^{-4}$	8	4.	80,5	$1,549 \times 10^{-4}$	8
в)				г)			
1.	81,0	$1,524 \times 10^{-4}$	2	1.	60,2	$2,759 \times 10^{-4}$	2
2.	79,7	$1,572 \times 10^{-4}$	4	2.	55,4	$3,258 \times 10^{-4}$	4
3.	78,7	$1,615 \times 10^{-4}$	6	3.	55,2	$3,295 \times 10^{-4}$	6
4.	78,4	$1,626 \times 10^{-4}$	8	4.	54,8	$3,329 \times 10^{-4}$	8
д)				е)			
1.	25,8	$1,502 \times 10^{-3}$	2	1.	23,8	$1,765 \times 10^{-3}$	2
2.	22	$2,066 \times 10^{-3}$	4	2.	19,4	$2,066 \times 10^{-3}$	4
3.	17,7	$3,191 \times 10^{-3}$	6	3.	14,1	$3,191 \times 10^{-3}$	6
4.	16,7	$3,585 \times 10^{-3}$	8	4.	13,9	$3,585 \times 10^{-3}$	8

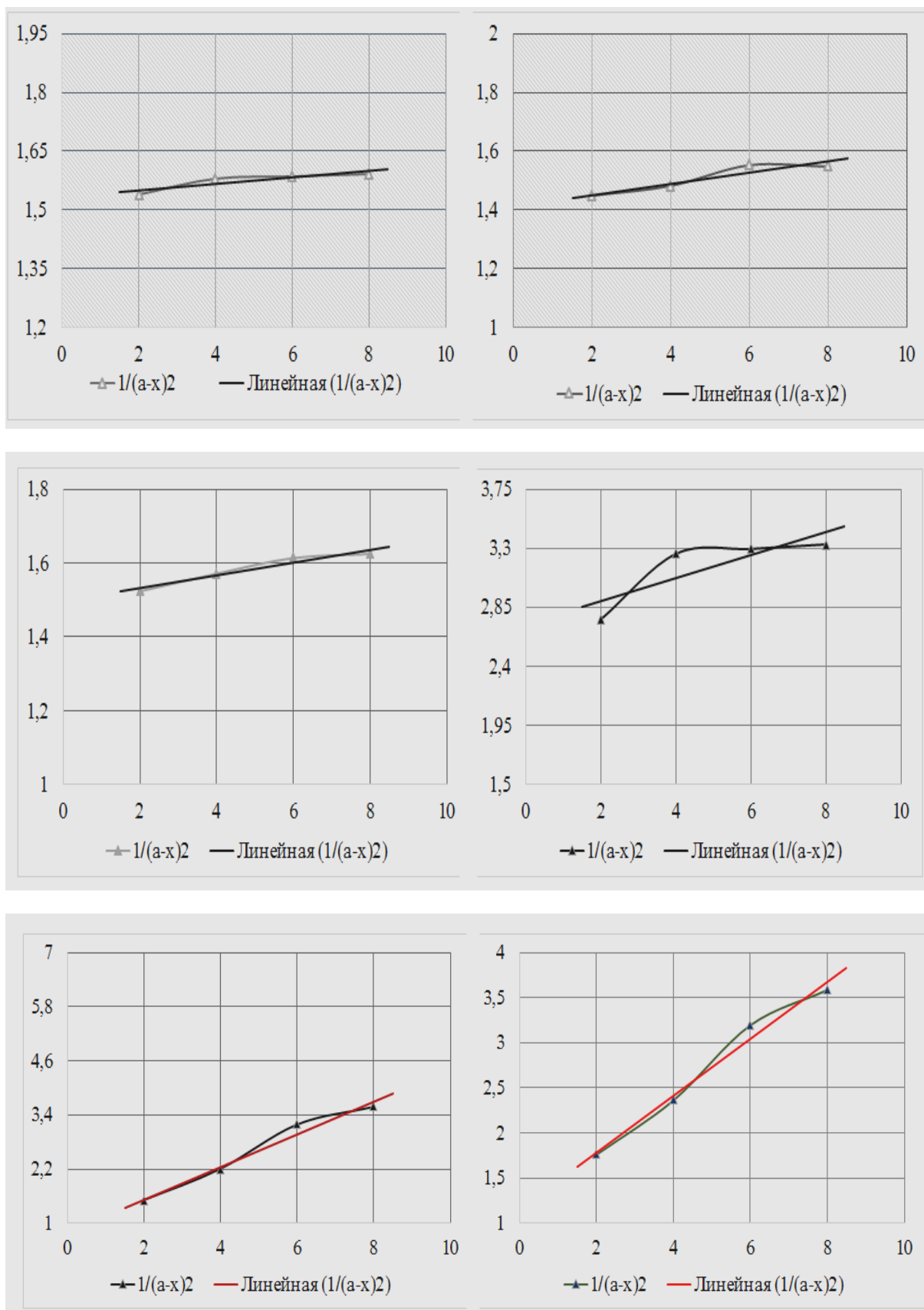


Рис. 3. Графическое определение константы скорости реакции

Определение порядка что по начальным скоростям не помогут так как неизвестно начальное концентрация A_0 . Расчетные данные на основе экспериментально полученных данных представлены в таблице 4.

Таблица 4. Расчетные данные для определения констант скорости реакции

№ таблицы	$\frac{1}{(a-x)^2}$	
	$\text{tg } \alpha$	k
1.	0,003	0,0015
2.	0,01617	0,008085
3.	0,002275	0,011375
4.	0,02025	0,010125
5.	0,3372	0,1686
6.	0,3033	0,15165

Одинаковые начальных концентрации наблюдаются только для второй, третий и четвертый части таблицы 1 подходит для наших исследований. Поэтому определяем энергия активации. Рассчитаем по методу наименьших квадратов тангенсы углов наклона прямых, которые соответствуют константам скоростей при различных температурах (таблица 5).

Таблица 5. Расчетные данные для определения энергии активации

№	t, °C	T, K	$\frac{1}{T}$	K	lnk
1.	200	473,15	0,0021135	0,008085	- 4,8177
2.	400	673,15	0,0014855	0,011375	- 4,25633
3.	600	873,15	0,0011453	0,02025	- 3,89960

Далее построим график зависимости константы скорости от температуры в координатах уравнения Аррениуса и рассчитываем энергия активации:

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT};$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{2,2}{0,0023} = 956,522.$$

$$E = R \times \text{tg } \alpha = 8,3144 \times 956,522 = 7952,906 \text{ Дж} = 7,9529 \text{ кДж}.$$

Из графика зависимости $\ln k$ от $\frac{1}{T}$ (рис. 7) следует, что $\ln A = -2,8$. Энергию активации находим по тангенсу угла наклона прямой: $E_a = 7952,906 \text{ Дж/моль} = 7,96 \text{ кДж/моль}$.

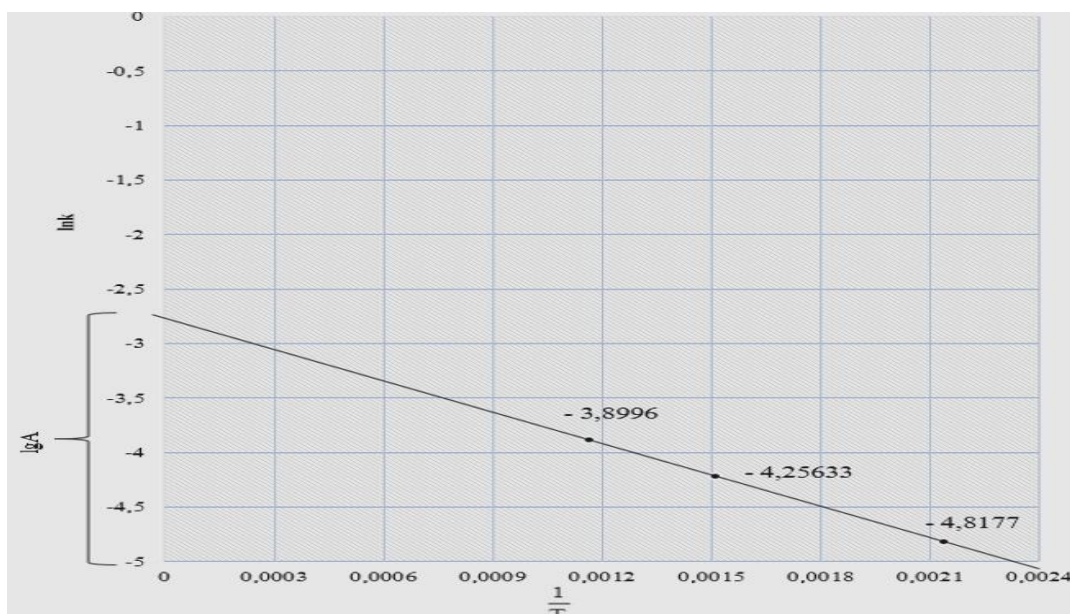


Рис. 7. Линеаризация по уравнению Аррениуса

Выводы: Таким образом, определены значения энергии активации, которая равна 7,9529 кДж/моль, что свидетельствует о быстро протекании реакции.

Полученные данные могут быть использованы при исследовании различных руд, содержащих серебро и проектировании золото-извлекательных фабрик, где предусмотрено ацетилтиомочевинного выщелачивания.

Литературы

1. Kh.I. Kholov, Sh.R. Samikhov., Acetylthiourea leaching gold from tails of flotation deposit Dzhiki-krut. – Norwegian Journal of Development of the International Science. – Global Science Center LP. – 2019. – Oslo. Vol. 3., p.70 – 76.

2. Л.С. Стрижко, И.Р. Бобоев, Ш. Бобозода, Г.А. Ващенко. Кинетические исследования аммиачно-цианидного выщелачивания золота. Наука и мир. ООО Изд-во «Научное образование». – 2014. – № 11 (15). – с. 49 – 52.

3. Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко. Кинетика разложения сульфидно – мышьяковых концентратов месторождения Чоре. Вестник Таджикского технического университета. – 2009. – № 8. – с. 21 – 24.

4. М.М. Мансуров. Кинетика химических реакций. Учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям по физической химии. – Душанбе: Таджикском госуниверситете имени В.И. Ленина, 1975. – 40 с.

5. Ш.Р. Самихов, З.А. Зинченко, Б.А. Бобохов. Изучение кинетики процесса цианирования золотосодержащих руд Таджикистана. Известия АН Республики Таджикистан: Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2012. – Т. 146, № 1. – с. 85 – 91.

6. Н.А. Колпакова, С.В. Романенко, В.А. Колпаков. Сборник задач по химической кинетике. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — 280 с.

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал

№ 4 (61)/ 2019

1 часть

Редакционная коллегия:

д.п.н., профессор Аркулин Т.В. (Москва, РФ)

Члены редакционной коллегии:

- Артафонов Вячеслав Борисович, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологического и природоресурсного права (Москва, РФ);
- Игнатьева Ирина Евгеньевна, кандидат экономических, преподаватель кафедры менеджмента (Москва, РФ);
- Кажемаев Александр Викторович, кандидат психологических, доцент кафедры финансового права (Саратов, РФ);
- Кортун Аркадий Владимирович, доктор педагогических, профессор кафедры теории государства и права (Нижний Новгород, РФ);
- Ровенская Елена Рафаиловна, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой судебных экспертиз, директор Института судебных экспертиз (Москва, Россия);
- Селиктарова Ксения Николаевна (Москва, Россия);
- Сорновская Наталья Александровна, доктор социологических наук, профессор кафедры социологии и политологии;
- Свистун Алексей Александрович, кандидат филологических наук, доцент, советник при ректорате (Москва, Россия);
- Тюменев Дмитрий Александрович, кандидат юридических наук (Киев, Украина)
- Варкумова Елена Евгеньевна, кандидат филологических, доцент кафедры филологии (Астана, Казахстан);
- Каверин Владимир Владимирович, научный сотрудник архитектурного факультета, доцент (Минск, Белоруссия)
- Чукмаев Александр Иванович, доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права (Астана, Казахстан)

Ответственный редактор

д.п.н., профессор Каркушин Дмитрий Петрович (Москва, Россия)

Художник: Косыгин В.Т

Верстка: Зарубина К.Л.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

г.Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия

E-mail: info@euroasia-science.ru ; www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии г.Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия