

# ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал

№ 2 (71) / 2020

6 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: Игнатъев 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 Октябринович (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](mailto:info@euroasia-science.ru) ; [www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

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

# СОДЕРЖАНИЕ

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

*Иванова О.И., Кожуховский А.В.*  
ОСОБЕННОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ И ОХРАНЫ  
ЗЕМЕЛЬ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ  
НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ .....4

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

*Ильинский А.В.*  
АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО  
ПОГЛОЩЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ  
КОРМОВОЙ СВЕКЛЫ .....9

*Искендеров А.А., Керимова Х.Ф.*  
ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ  
УПРАВЛЕНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ .....12

*Острошенко В.Ю., Острошенко Л.Ю.*  
ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРА РОСТА ЭКОПИН НА  
ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ПИХТЫ  
ЦЕЛЬНОЛИСТНОЙ (*ABIES HOLOPHYLLA* MAXIM.)...17

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Palymskiy I.B., Fomin P. A.*  
*Latifi Chahandachti Anouchah*  
ON CONVECTION STABILITY OF HYDROCARBON-  
OXYGEN GAS MIXTURE AND EXPLOSION SAFETY .....24

*Kiseleva E.M.,*  
*Prytomanova O.M., Padalko V.H.*  
APPLICATION OF THE THEORY OF OPTIMAL SET  
PARTITIONING BEFORE BUILDING MULTIPLICATIVELY  
WEIGHTED VORONOI DIAGRAM WITH FUZZY  
PARAMETERS .....30

*Абрамова В.В.*  
ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ  
ОБЫКНОВЕННОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО  
УРАВНЕНИЯ С ПАРАМЕТРОМ ПРИ ПРОИЗВОДНОЙ  
.....35

*Ачеева Э.А., Локьяева С.М., Лопушняк Е.В.*  
ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО  
ПОТЕНЦИАЛА ОТ СКОРОСТИ  
ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРИ ПНЕВМОЗАРЯЖАНИИ  
.....39

*Nabiyeva D.O., Xankishiyeva A.X.*  
SOLUTION WITH SCIENTIFIC PACKAGING SCILAB.....42

# НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.062.4.

## ОСОБЕННОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ И ОХРАНЫ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.609](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.609)**Иванова Ольга Игоревна***к.г.н. доцент кафедры Природообустройства  
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ  
Россия, г. Красноярск***Кожуховский Алексей Васильевич***к.г.н. доцент кафедры Природообустройства  
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ  
Россия, г. Красноярск*

## FEATURES OF LAND RECLAMATION AND PROTECTION DURING MINING IN THE KRASNOYARSK TERRITORY

**Ivanova Olga Igorevna***Ph.D., associate Professor of environmental Management Department  
Krasnoyarsk state agrarian University  
Russia, Krasnoyarsk***Kozhukhovskiy Aleksey Vasilevich***Ph.D., associate Professor of environmental Management Department  
Krasnoyarsk state agrarian University  
Russia, Krasnoyarsk*

### АННОТАЦИЯ

Целью исследования является воздействие на земельные ресурсы при проведении горных работ, и основные этапы рекультивации земель при добыче полезных ископаемых на примере Тырадинского месторождения золота, карьера «Золотая Тырада», расположенного в Енисейском районе Красноярского края. Рассмотрены основные факторы воздействия на земельные ресурсы в процессе отработки месторождения; проведен анализ мероприятий по снижению отрицательного воздействия на земельные ресурсы в процессе отработки месторождения. Фактическая высота и площадь отвалов вскрышных пород не превысили проектную, корректировка конфигурации отвалов позволила снизить влияние работ на окружающую среду, избежать размещения части отвалов, в водоохраной зоне реки Тырада, при этом отпала необходимость отвода земель с лесами первой группы и уменьшился объем снятого плодородного слоя почвы. В ходе проведения рекультивации были использованы потенциально плодородные породы (суглинок), взятые из карьера. В процессе проведения ликвидационных работ ухудшения ситуации по воздействию на земельные ресурсы происходить не будет, в связи с коротким сроком проведения работ и в пределах существующего земельного отвода.

### ANNOTATION

The purpose of the study is to influence land resources during mining operations, and the main stages of land reclamation during mining on the example of the Tyradinsky gold Deposit, the "Zolotaya Tyrada" quarry, located in the Yenisei region of the Krasnoyarsk territory. The main factors of impact on land resources in the process of mining the field are considered; the analysis of measures to reduce the negative impact on land resources in the process of mining the field is carried out. The actual height and area of overburden dump not to exceed project, the reconfiguration of dumps allowed us to reduce the impact of mining on the environment, to avoid placing parts of the dumps in the water protection zone of the river Terada, thus there is no need of land allocation to forests of the first group and reduced the amount of removed topsoil. During the reclamation, potentially fertile soils (loam) taken from the quarry were used. There will be no deterioration in the impact on land resources during the liquidation process, due to the short duration of the work and within the existing land allotment.

**Ключевые слова:** испрашиваемые земли; отработанный карьер, месторождение, горные работы, вскрышные породы, водоохраные зоны, рекультивация, плодородный слой.

**Keywords:** requested land; used quarry, field, mining operations, overburden, water protection zones, reclamation, fertile layer.

### Введение

Особенности использования земельного участка для добычи полезных ископаемых заключается в выделении земельного отвода и

получении лицензии [1,2]. Эксплуатация земельного участка отведенного для недропользования, включает в себя требования по снятию и хранению плодородного слоя почвы,

рекультивации земель, консервации и ликвидации предприятия осваивающего участок, его возврат прежнему владельцу в надлежащем виде. Для размещения отвалов вскрышных пород горнодобывающего производства обычно используют отведенный земельный участок. На завершающем этапе разработки месторождения, производится рекультивация, которая является технологическим этапом горного производства и проводится, как правило, в три этапа. Предприятие, которое разрабатывает полезные ископаемые, обеспечивает техническую рекультивацию, которая проходит в процессе эксплуатации карьера и зависит от региональных условий [3].

#### **Объект и методы исследования**

На примере Тырадинского месторождения золота, карьера «Золотая Тырада», расположенного в Енисейском районе Красноярского края рассмотрим воздействие объекта на земельные ресурсы, и основные этапы рекультивации земель. Отработка месторождения производилось в период с июля 2003 года по май 2005 года [4]. По лесохозяйственному районированию месторождение находится в Северо-Енисейском лесохозяйственном районе, округ горно-таежных лесов Среднесибирской плоскогорной лесохозяйственной области, на высоте 670-700 м. над уровнем моря, территория со средней лесистостью. Лесистость Северо-Енисейского района составляет 95 %. Средние годовые приросты древесины хвойных пород составляют около 1,0 м<sup>3</sup>/га, лиственных – 1,2 м<sup>3</sup>/га. Общие запасы древесины в спелых насаждениях колеблются от 40 до 60 м<sup>3</sup>/га. По георастительному районированию, разработанному институтом леса им. Сукачева СО РАН, территория района расположена в Питском горно-таежном пихтовом поясе.

Для размещения объектов Тырадинского золоторудного месторождения первоначально по проекту отработки месторождения [4] был необходим отвод земель Новоколаминского лесничества Северо-Енисейского лесхоза в кварталах 671, 672, 704 общей площадью 89,8 га. На испрашиваемой территории произрастают леса 1 группы в квартале №704 площадь 15,0 га и леса 3 группы в кварталах №671,672,704 площадь 74,8 га.

На территории с лесами первой группы планировалось по проекту отработки месторождения разместить отвалы вскрышных пород. Во время работ возник ряд проблем, связанных с размещением отвалов вскрышных пород, решение которых потребовало пересмотреть конфигурацию отвалов. Изменение конфигурации отвалов вскрышных пород, помимо решения проблемы с размещением вскрышных пород позволило избежать размещения части отвалов, в водоохраной зоне, реки Тырада, как это было запланировано в проекте. Фактическая высота и площадь отвалов вскрышных пород не превысили проектную, корректировка конфигурации отвалов позволила снизить влияние работ на окружающую

среду, необходимость отвода земель с лесами первой группы отпала.

Выбор земельного участка для строительства объектов карьера «Золотая Тырада» в Северо-Енисейском районе был определен: Актом выбора земельного участка для строительства; Актом натурального технического обследования земельного участка, испрашиваемого из состава лесного фонда Северо-Енисейского лесхоза; Постановлением администрации Северо-Енисейского района от 04.07.03, №287; Распоряжением совета администрации края от 20.04.04, №343-р[5].

На стадии оформления документации на отвод участка земли был выполнен акт натурального технического обследования испрашиваемой территории. В соответствии с актом в обследованном участке произрастали леса третьей группы, общей площадью 74,8 га, из них 69,3 га – земли покрытые лесом – подлесок средней густоты, земли нелесные – 5,5 га. Нелесные земли занимают геологический профиль и дорога.

На участке произрастали мягколиственные (березы) и хвойные породы (пихты, ели, осины) 4-5 бонитета, возраста – 60-140 лет, полноты 0,4-1,0. Запас деловой древесины составлял 4010 м<sup>3</sup>, дровяной – 1719 м<sup>3</sup>. Почва на участке среднеподзолистая, легкосуглинистая, средняя мощность почвенного растительного слоя составляла 0,1 м [4].

При строительстве объектов карьера в процессе отработки месторождения были преобразованы верхние слои почвы в – техногенный ландшафт горнорудного профиля. Отведенные земли были нарушены строительством карьера, подъездных автодорог, промплощадки, отстойника, размещением отвалов вскрышных пород.

Одним из основных, мероприятий по снижению отрицательного воздействия на земельные ресурсы в процессе отработки месторождения стали проектные решения по оптимизации расположения объектов карьера, с целью компактного их размещения и снижения площади участка, испрашиваемого к отводу. Размеры земельного отвода и границы участка в проекте отработки месторождения были определены исходя из следующих условий: промышленная площадка была полностью вынесена за зону по взрывным работам в карьере; учитывалась зона безопасности при размещении отвалов вскрышных пород, равная один к трем высоты яруса отвала; земельные участки под дорогами в соответствии со СН 467-74 [6]; площади занимаемые

ЛЭП 6/0,4 (кВ) были включены в отвод земель под инженерные коммуникации.

В таблице 1 приведены площади земель занятых объектами карьера по проекту отработки месторождения и фактическому состоянию на момент завершения работ по отработке запасов. В процессе подготовки участка к строительству, в соответствии с требованиями Лесного и Земельного кодекса, строго соблюдались границы

земельного отвода, была произведена очистка территории от леса, раскорчевка пней. Деловой лес использован на нужды предприятия, а некондиционный и отходы - на нужды местного населения. Срубленная древесина находилась на участке менее 10 дней, поэтому специальных мероприятий защите древесины от вредителей не требовалось.

В процессе проведения работ после очистки территории от леса и раскорчевке была произведена срезка плодородного слоя почвы бульдозером и складирование в складах почвенного растительного слоя. Однако, в связи с тем, что реальная мощность плодородного слоя на участке составила менее 10 см, плодородный слой снимался избирательно, где это было возможно

Таблица 1

**Площади объектов карьера «Золотая Тырада»**

Наименование объекта	Площадь, га	
	по проекту отработки	фактическая
Карьер	15,09	15,00
Промышленная площадка	0,45	1,8
Отвалы вскрышных пород <sup>1</sup>	51,57	32,77
Склад первичных руд	4,56	1,52
Отвал за балансовых руд	1,93	-
Автодороги и съезды карьерные	3,56	2,84
Автодорога меж площадочная	7,50	7,50
Отстойник	0,72	0,45
Инженерные коммуникации, в т.ч. ЛЭП-6/0,4 (кВ)	3,09	3,09
Прочие	1,33	9,83
<b>ВСЕГО:</b>	<b>89,8</b>	<b>74,8</b>

Основное воздействие на земельные ресурсы было оказано в период отвода земель и ведения горных работ, при снятии плодородного слоя почвы, создании техногенных форм рельефа. Для снижения негативного воздействия последствий горных работ проектом отработки была предусмотрена рекультивация земель, нарушенных при отработке месторождения, позволяющая привести земли в состояние, пригодное для последующего лесохозяйственного использования. Рекультивация производилась на завершающем этапе разработки месторождения, являлась технологическим этапом горного производства и проводилась, в три этапа. Основные решения по проведению рекультивационных работ были отражены в проекте отработки Тыраданского золоторудного месторождения, выполненном ОАО «Сибцветметниипроект» в 2000 году [4], и получившем положительное заключение государственной экологической экспертизы №248 от 28.05.03.

Направления рекультивации нарушенных земель и виды их использования включают: карьерную выемку под искусственный водоем; отвалы вскрышных пород под лесонасаждения поверху отвалов и задернованные участки природоохранного назначения по откосам.

ЗАО «Полюс» от ФГУ «Северо-Енисейский лесхоз» было получено согласование на проведение горно-технического и биологического этапа рекультивации на площади поверхности отвалов вскрышных пород 21,5 га, остальные земли, включая откосы карьера общей площадью 49,85 га оставлены под самозарастание. Карьерная выемка площадью 15,0 га заполняется водой

естественным путем до отметки 640 м. - 645 м. Площадь зеркала воды 3,45 га. Как уже отмечалось, по проекту отработки планировалось снятие плодородного слоя почвы в объеме 49,4 тыс. м<sup>3</sup>, в связи с тем, что реальная мощность плодородного слоя на участке составила менее 10 см, плодородный слой снимался избирательно, где это было возможно. Площадь отводимой территории стала меньше, в связи с изменением конфигурации отвалов, что уменьшило объем снятого плодородного слоя почвы. Его фактический объем составил 34,4 тыс. м<sup>3</sup>. Площадь поверхности отвалов, подлежащая рекультивации в соответствии с проектом отработки составляла 30,5 га, фактическая площадь поверхности отвалов, в связи с изменением их конфигурации составила 21,5 га.

Помимо заскладированного плодородного слоя почвы при рекультивации были использованы потенциально плодородные породы (суглинок), взятые из карьера. Использование потенциально плодородных пород для биологической рекультивации под лесонасаждения различного назначения регламентировано ГОСТом 17.5.1.03-86 [7].

Часть работ по горнотехнической рекультивации была проведена на завершающей стадии отработки карьера. На площади отвалов и откосов производилась селективная отсыпка суглинков, на территории временных дорог и территории промышленной площадки. Горно - технический этап рекультивации поверхности отвалов был проведен в течение 2005 года. Нами был рассчитан баланс занимаемых и рекультивируемых земель таблица 2.

Таблица 2

<b>Баланс земель</b>				
Всего земель	Типы земель			
	под водоемами	пол лесами	под кормовыми угодьями	под не лесные участки
Земли, подлежащие отводу, га				
74,8	-	69,3	-	5,5
Восстанавливаемые земли, га				
74,8	3,45	71,35	-	-
Баланс отведенных и восстанавливаемых земель, га				
0	+3,45	+2,05	-	-5,5

Биологический этап рекультивации предусматривает создание растительного покрова на территории поверхности отвалов вскрышных пород, согласно техническим условиям на рекультивацию. При лесохозяйственном направлении рекультивации территории рекомендуется высаживать те виды, которые произрастали на участке до его освоения.

Эффективность искусственного лесовозобновления во многом зависит от густоты культур – числа деревьев на единице площади, а также от характера размещения посадочных мест на участке – расстояния между рядами культур и шагом посадки саженцев в ряду. Эти параметры во многом определяют ход роста и формирования насаждений. Этот период характеризуется наиболее благоприятными экологическими условиями. Лесохозяйственное направление биологического этапа рекультивации площади поверхности отвалов, проведено ФГУ «Северо-Енисейский лесхоз» на основе договора и за счет средств ЗАО «Полюс». В процессе проведения биологического этапа рекультивации, согласно нормативно-технологической карты, выполнены следующие виды работ: обработка почвы под посев; посев семян хвойных культур (сосны); уход за лесокультурами первого года (2 кратный); уход за лесокультурами второго года (2 кратный); дополнение лесокультур на 30%, посев семян; уход за лесокультурами третьего года; уход за лесокультурами четвертого года.

#### **Заключение**

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы: проведенные мероприятия по защите земельных ресурсов, в пределах прогнозируемого, и даже ниже ожидаемого, вследствие отказа от части испрашиваемых земель. Фактическая высота и площадь отвалов вскрышных пород не превысили проектную, корректировка конфигурации отвалов позволила снизить влияние работ на окружающую среду, избежать размещения части отвалов, в водоохраной зоне реки Тырада; позволила оптимально по площади расположить объекты карьера; отпала необходимость отвода земель с лесами первой группы; уменьшился объем снятого плодородного слоя почвы. В ходе проведения рекультивации были использованы потенциально плодородные породы (суглинков), взятые из карьера. В процессе проведения ликвидационных

работ ухудшения ситуации по воздействию на земельные ресурсы происходить не будет, в связи с коротким сроком проведением работ и в пределах существующего земельного отвода.

#### **Литература:**

Федеральный Закон Российской Федерации от 21.02.92 г. №2395-19 (ред. от 27.12.19) "О недрах" // "Российская газета" от 5.05.92 г. №102.

Калинин И.Б. Предоставление земельных участков для недропользования / Правовые проблемы укрепления российской государственности. Томск: Изд-во Томского ун-та. 2001. С. 211-213.

Иванова О.И. Особенности рекультивации земель нарушенных горными работами на территории Енисейского района Красноярского/Современные проблемы землеустройства, кадастров и природообустройства: мат-лы Национал.науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2019, с115-123.

Проект отработки Тырадинского золоторудного месторождения – Красноярск, ОАО "СИБЦВЕТМЕТНИИПРОЕКТ", 2000г.

Распоряжением совета администрации края от 20.04.04., №343-р. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lawmix.ru>

6. СН 467-74 «Нормы отвода земель для автомобильных дорог». [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru>

7. ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы (ССОП). Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель». [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru>

#### **Literature**

1. Federal Law of the Russian Federation of 21.02.92, No. 2395-19 (ed. of 27.12.19) "on subsoil" // "Rossiyskaya Gazeta" of 5.05.92, No. 102.

2. Kalinin I. B. Providing land plots for subsoil use / Legal problems of strengthening the Russian state. Tomsk: Publishing house of the Tomsk University. 2001. Pp. 211-213.

3. Ivanova O. I. Features of recultivation of lands disturbed by mining operations on the territory of the Yenisei district of Krasnoyarsk/Modern problems of land management, cadastre and environmental management: Mat-ly National.science.

Conf. / Krasnoyar. state agrarian. UN-T.-Krasnoyarsk, 2019, s115-123.

4. Project of mining gold deposits Tyradinskoye – Krasnoyarsk, OJSC “SIBTSVETMETNIIPROEKT”, 2000.

5. By order of the Council of the regional administration dated 20.04.04., No. 343-p. [Electronic resource]. URL: <https://www.lawmix.ru>

6. SN 467-74 "Standards of allotment of lands for motor roads" ". [Electronic resource]. - URL: <http://docs.cntd.ru>

7. GOST 17.5.1.03-86 " nature Protection (SSOP). Lands. Classification of overburden and enclosing rocks for biological recultivation of lands". [Electronic resource]. - URL: <http://docs.cntd.ru>

# СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

## АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ КОРМОВОЙ СВЕКЛЫ

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.612](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.612)*Ильинский Андрей Валерьевич**кандидат с/х наук, доцент,**ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»,**Мещерский филиал,**г. Рязань*

## ANALYSIS OF BIOLOGICAL ABSORPTION COEFFICIENTS OF HEAVY METALS FOR FODDER BEET

*Ilinskiy Andrey**candidate of agricultural sciences, associate professor**Federal State Scientific Institution «All-Russian research institute**for hydraulic engineering and reclamation of A.N. Kostyakov»,**Meshchersky branch,**Ryazan*

### АННОТАЦИЯ

Представлены результаты полевого лизиметрического опыта на оподзоленном черноземе по изучению коэффициентов биологического поглощения тяжелых металлов и микроэлементов для корнеплодов и ботвы кормовой свеклы при использовании различных систем минеральных удобрений. Анализ эмпирических рядов накопления элементов в основной и побочной продукции растений кормовой свеклы показал, что уровень накопления цинка, свинца и кадмия в корнеплодах значительно ниже, чем в ботве, а содержание меди относительно равномерно распределено между основной и побочной продукцией по вариантам опыта. На варианте с повышенным агрохимическим фоном произошло снижение содержания меди, цинка и свинца в основной и побочной продукции кормовой свеклы, что может быть связано с эффектом биологического разбавления при использовании минеральных удобрений.

### ABSTRACT

The results of a field lysimetric experiment on podzolized chernozem to study the coefficients of biological absorption of heavy metals and trace elements for root crops and tops of fodder beets using various systems of mineral fertilizers are presented. Analysis of the empirical series of accumulation of elements in the main and by-products of fodder beet plants showed that the level of accumulation of zinc, lead and cadmium in root crops is significantly lower than in the tops, and the copper content is relatively evenly distributed between the main and by-products according to the variants of the experiment. In the variant with an increased agrochemical background, there was a decrease in the content of copper, zinc and lead in the main and by-products of feed beets, which may be due to the effect of biological dilution when using mineral fertilizers.

**Ключевые слова:** микроэлементы, минеральные удобрения, оподзоленный чернозем, сельское хозяйство, транслокация, тяжелые металлы, химическая мелиорация, экологическая безопасность.

**Keywords:** trace elements, mineral fertilizers, black soil, agriculture, translocation, heavy metals, chemical reclamation, environmental safety.

Выщелоченные и оподзоленные черноземы являются наиболее плодородными почвами, на территории Рязанской области зона черноземов занимает 44,7 % и охватывает следующие районы: Сараевский, Новодеревенский, Ухоловский, Рязский, Милославский, часть Шацкого, Михайловского, Захаровского и Сасовского районов [1, 10]. Результаты многолетних мониторинговых исследований содержания тяжелых металлов в компонентах окружающей среды позволили обозначить приоритетные из них для агроэкосистем Рязанского региона: медь, цинк, свинец и кадмий [8].

По мнению Ю.В. Алексеева [2], «микроэлементы» и «тяжелые металлы» понятия, относящиеся к одним и тем же элементам, но используемые в разных значениях, основанном,

скорее всего, на их содержании в объектах окружающей среды. Однако имеется группа особо токсичных металлов, к которым относятся ртуть, свинец и кадмий, представляющих наибольшую опасность для окружающей среды [2, 11]. Почва является природным накопителем тяжелых металлов в компонентах окружающей природной среды и основным источником их поступления в сопредельные среды, а также сельскохозяйственные культуры [4, 9, 12]. Известно, что вегетативная масса сельскохозяйственных культур способна накапливать значительно больше тяжелых металлов, чем органы накопления ассимилятов (например, клубни и корнеплоды), что представляет особую важность в выращивании таких овощных культур [5, 11]. В качестве

ключевого фактора, определяющего уникальность содержания химических элементов в почвенном покрове агроэкосистем, выступает материнская почвообразующая порода и, чем более высокая концентрация их в подстилающей почвообразующей породе, тем, как правило, больше их содержание в почвенном покрове [6, 7]. Распределение микроэлементов и тяжелых металлов в органах растений тесно связано с существованием ряда барьеров в системе: почва – корень – стебель – лист – репродуктивный орган, характер же их распределения в растениях также зависит от вида самих культур и от условий их выращивания [11]. Обеспечение оптимального соотношения в почве макро- и микро-элементов за счет повышения эффективности применения удобрений позволяет не только увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, но и повысить качество продукции растениеводства [3]. Сбор и систематизация данных о накоплении микроэлементов и тяжелых металлов в органах сельскохозяйственных культур в зависимости от уровня техногенной нагрузки, содержания элементов в почвенном покрове и используемой агротехники их выращивания позволят сформировать необходимый банк данных для решения вопросов прогнозирования транслокации поллютантов в агробиосистемах.

Цель лизиметрических исследований заключалась в изучении распределения микроэлементов и тяжелых металлов в ботве и корнеплодах кормовой свеклы при выращивании на оподзоленном черноземе на фоне применения различных доз минеральных удобрений. Повышенные дозы фосфорных и калийных удобрений были внесены на третьем варианте (P240 K270) под предшествующую культуру (овес), в результате под кормовую свеклу в отчетном году на обозначенном варианте были внесены только азотные удобрения в дозе N90. Схема проведения полевого лизиметрического опыта имела следующий вид: 1 – контроль; 2 – N1P1K1; 3 – N1P4K4,5.

Для опытов использовались лизиметры конструкции ВНИИГиМ, почва (оподзоленный чернозем) ненарушенного сложения со смоделированным глубоким залеганием уровня грунтовых вод (1,5 м). После уборки и учета урожая основной и побочной продукции кормовой свеклы проводилось определение в ней содержания меди, цинка, свинца и кадмия методом атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства, 1992 и ГОСТ Р 55447-2013.

Таблица 1

**Значения коэффициентов биологического поглощения ( $A_x$ ) микроэлементов и тяжелых металлов для кормовой свеклы**

Варианты	Дозы удобрений под свеклу	Коэффициенты поглощения элементов (корнеплод/ботва)			
		медь	цинк	свинец	кадмий
1. контроль	-	<u>1,18</u>	<u>3,07</u>	<u>0,43</u>	<u>4,59</u>
		1,11	7,89	1,55	14,30
2. N1P1K1	N90P60K90	<u>1,11</u>	<u>2,87</u>	<u>0,35</u>	<u>4,54</u>
		1,16	6,56	1,48	14,54
3. N1P4K4,5	N90	<u>0,90</u>	<u>2,78</u>	<u>0,11</u>	<u>5,30</u>
		0,78	5,80	0,87	20,50

Анализ данных, представленный в таблице 1 показал, что различные системы минеральных удобрений оказали влияние на значения коэффициентов биологического поглощения изучаемых элементов как для корнеплодов, так и для ботвы кормовой свеклы. В целом, медь достаточно равномерно распределена в основной и побочной продукции кормовой свеклы, а цинк свинец и кадмий значительно больше сконцентрированы в ботве, чем в корнеплодах обозначенной культуры. Значения коэффициентов биологического поглощения изучаемых элементов для корнеплодов и ботвы кормовой свеклы распределены следующим образом:

- по меди: для корнеплодов наибольшие значения зафиксированы на варианте 1, наименьшие – на варианте 3; для ботвы наибольшие значения зафиксированы на варианте 2, наименьшие – на варианте 3;

- по цинку: для корнеплодов наибольшие значения зафиксированы на варианте 1, наименьшие – на варианте 3; для ботвы

наибольшие значения зафиксированы на варианте 1, наименьшие – на варианте 3;

- по свинцу: для корнеплодов наибольшие значения зафиксированы на варианте 1, наименьшие – на варианте 3; для ботвы наибольшие значения зафиксированы на варианте 1, наименьшие – на варианте 3;

- по кадмию: для корнеплодов наибольшие значения зафиксированы на варианте 3, наименьшие – на варианте 2; для ботвы наибольшие значения зафиксированы на варианте 3, наименьшие – на варианте 1.

На основе изучения по вариантам лизиметрического эксперимента коэффициентов биологического поглощения изучаемых металлов для основной и побочной продукции кормовой свеклы были построены эмпирические ряды их накопления: для корнеплодов кормовой свеклы эмпирический ряд имеет следующий вид:  $Cd > Zn > Cu > Pb$ ; для ботвы кормовой свеклы эмпирический ряд имеет следующий вид:  $Cd > Zn > Pb > Cu$ .

Анализ эмпирических рядов накопления показал, что как в корнеплодах, так и в ботве кормовой свеклы интенсивнее накапливаются кадмий и цинк, чем медь и свинец, в свою очередь в соломе овса интенсивнее накапливается кадмий и цинк, чем медь и свинец. Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 кадмий, свинец также и цинк относятся к химическим веществам первого класса опасности, поэтому нуждаются в пристальном контроле за содержанием в элементах агроэкосистем.

Изучение соотношения коэффициентов биологического поглощения рассмотренных элементов корнеплодов к ботве кормовой свеклы (рисунок 1) показало, что применение различных систем минеральных удобрений в целом оказало положительное влияние на поступление в корнеплоды таких важных микроэлементов как медь и цинк. При этом содержание свинца и кадмия в корнеплодах кормовой свеклы при применении минеральных удобрений значительно уменьшилось.

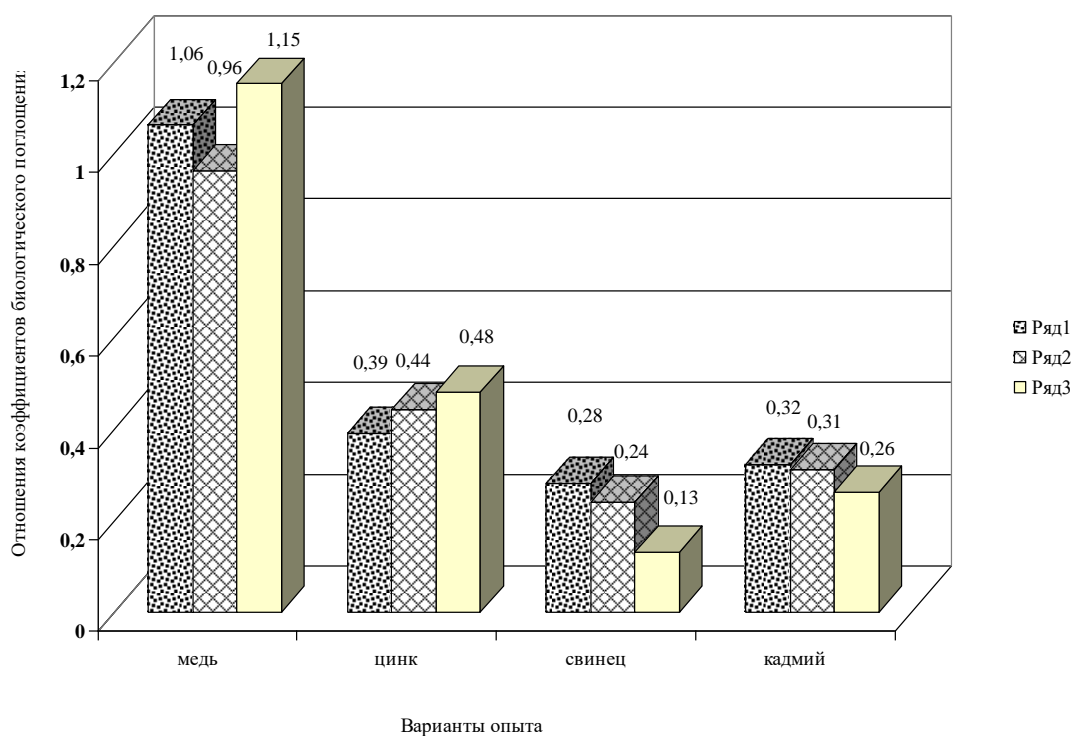


Рисунок 1. Значения отношений коэффициентов биологического поглощения элементов корнеплодов к ботве кормовой свеклы

Таким образом, изучение коэффициентов биологического поглощения изученных микроэлементов и тяжелых металлов, а также эмпирических рядов их накопления в основной и побочной продукции растений кормовой свеклы показало, что уровень накопления цинка, свинца и кадмия в корнеплодах значительно ниже, чем в ботве, а содержание меди относительно равномерно распределено между основной и побочной продукцией по вариантам опыта. На варианте 3 (повышенный агрохимический фон) произошло снижение содержания меди, цинка и свинца в основной и побочной продукции кормовой свеклы, что может быть связано с эффектом биологического разбавления при использовании минеральных удобрений.

#### Список литературы

1. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Рязанской области – Модель XXI столетия. / Под ред. С.Я. Полянского. – Рязань: Рязанский НИПТИ АПК, 2000. – 183 с.

2. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.

3. Анпок П. И. Микроудобрения: Справочник.- 2-е изд., перераб. И доп. – Л.; Агропромиздат, 1990. – 272 с.

4. Виноградов Д.В., Ильинский А.В., Данчеев Д.В. Экология агроэкосистем. – Рязань: ИП Жуков В.Ю., 2020. – 256 с.

5. Гармаш Г.А., Гармаш Н.Ю. Распределение тяжелых металлов по органам культурных растений // Агротехника. – 1987. – №5. – С. 40–46.

6. Ильинский А.В. Обоснование использования на дерново-подзолистых почвах микроэлементных добавок в составе комплексных мелиорантов // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал. 4 часть. – 2019. – 12 (69). – С. 26-28.

7. Ильинский А.В. К вопросу применения на аллювиальных почвах микроэлементных добавок в составе комбинированных удобрений // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал. 5 часть. – 2019. – 10 (67). – С. 12-15.

8. Мажайский Ю.А. Обоснование режимов комплексных мелиораций в условиях техногенного загрязнения агроландшафта: диссертация доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель // ГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова». – Москва, 2002. – 456 с.

9. Методические рекомендации по мероприятиям для предотвращения и ликвидации загрязнения агроландшафтов тяжелыми металлами. М., ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии 2005. – 72 с.

10. Система ведения агропромышленного производства Рязанской области на 1998-2010 г.г. / Под ред. С.В. Сальникова, Г.М. Туникова, С.Я. Полянского. – Рязань, 1999. – 258 с.

11. Соколов О.А., Черников В.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Книга 1. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. – Пущино, ОНТИ ПНЦ РАН, 1999. – 164 с.

12. Черников В.А., Алексахин Р.М., Голубев А.В. и др. Агрэкология. – М.: Колос, 2000. – 536 с.

УДК 627.841; 628.15; 626.82

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.610](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.610)

*Искендеров Алескер Алекпер оглы*

*д-р техн. наук, проф.*

*Керимова Хавер Фазиль кызы*

*диссертант.*

*Сумгаитский государственный университет,*

*г. Сумгаит, Азербайджан*

## DEVELOPMENT OF THE OPTIMAL STRUCTURE OF INFORMATION RELATIONS BETWEEN THE UNITS OF THE WATER MANAGEMENT SYSTEM

*Iskenderov Alesker Alekper oglu*

*Dr. Tech. Sciences, Prof.,*

*Kerimov Haver Fazil Kyzy*

*thesis.*

*Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan*

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрена задача оптимизации структуры информационного обеспечения объектов водоснабжения. Составлена задача уменьшения количества и трудоемкости работ по разработке и передачи информации, циркулирующих между объектами водоснабжения, путем устранения ненужных и повторяющихся показателей в различных документах системы управления. Приводится математическая постановка задачи и ее решение с помощью метода линейного целочисленного программирования Гомори.

### ABSTARCT

The system of information support of the territory water supply facility is considered. The task is to reduce the number and complexity of work on the development of information circulating between management units, by reducing unnecessary and repetitive indicators in the documents. The problem is posed and solved as a linear integer programming problem and solved using the MATLAB methods of mathematical programming.

**Ключевые слова:** автоматизированная система водоснабжения, оптимизация, электронный документооборот, коэффициент ценности, коэффициент неповторяемости, линейное целочисленное программирование, критерия оптимальности.

**Keywords:** automated control system, water supply system, optimization, electronic document flow, coefficient of value, coefficient of uniqueness, integer programming, optimality criteria.

### 1. Введение

Многие населенные пункты, промышленные и сельскохозяйственные объекты, а также орошаемые сельскохозяйственные территории нуждаются в развитой системе водоснабжения. Эти системы состоят из источников воды, водозаборных сооружений, складов для резервирования воды, магистральных и разветвленных каналов или трубопроводов для доставки воды к пунктам водопотребления, а также сооружений для передачи воды к пунктам водопотребления. Управление такими системами

производится на основе многочисленных информации, циркулирующих между объектами самой системы и другими организациями, которые имеют информационные связи с ними.

Эти информации можно разделить на: *входящие*, – поступающие в систему из других организаций; *внутренние*, – создающиеся в самой системе и использующиеся в его работе; *внешние*, – направляющиеся к другим организациям. Для управления системой, эти информации двигаются по определенным маршрутам. Такое движение осуществляется с помощью непосредственной

связи работников самой системы, курьерами, почтой, факсом, телефоном или электронной (интернетной) связи. Процесс создания и движения информации между сотрудниками и подразделениями системы называется *документооборотом* или *делопроизводством*, а информационная связь, осуществляемая с помощью интернета называется *электронным документооборотом*.

Имеются множество работ по описанию документооборота и электронного документооборота. Рассмотрим некоторые из них.

В [1] излагается основная программа профессионального обучения по профессии «Делопроизводитель». Цель программы – сформировать навыки, необходимые в профессиональной деятельности делопроизводителя. Задачи программы – сформировать общие и профессиональные компетентности.

В [2] излагается что, всякий раз, когда заходит разговор об обмене информацией в электронной форме, будь это платежи через Интернет, почта или переписка в Скайпе, рано или поздно возникает тема безопасности информации. Если же мы говорим об электронном документообороте, то есть о движении электронных документов, совместной работе с ними, принятии решений на их основе, набор вопросов существенно возрастает.

В [3] рассказывается о деятельности отдела кадров предприятия. Приведены основные аспекты работы кадровой службы, рассмотрены вопросы надзора, а также работы по законодательству о труде. В пособии подробно описан порядок оформления документов при приеме на работу и увольнении сотрудника, а также даны, правила заключения и расторжения трудовых договоров, правила взаимодействия с инспекцией по труду. Акцент в пособии сделан на составлении личных документов, таких, как резюме, заявлений, просьб. Целевая аудитория пособия — руководители предприятий, руководители и специалисты кадровых служб.

В [4] даются вопросы организации делопроизводства в бухгалтерии, управление бухгалтерской документацией, график документооборота в бухгалтерии, документирование деятельности бухгалтерии и т.д.

В [5] приводятся отдельные иллюстрации по различным темам электронного документооборота. Имеются также описания к этим иллюстрациям.

В вышеуказанных и других подобных работах рассматриваются различные аспекты делопроизводства, документооборота, а также некоторые принципы их оптимизации.

В частности, для усовершенствования документооборота системы водообеспечения в Азербайджане создана и используется *электронный «Документооборот Азерсу»*, которая считается совершенной системой.

Для получения полной информативности документооборота, в составе входящих, внутренних и внешних документов,

циркулирующих в электронной системе документооборота Азерсу должны быть указаны следующие показатели:

- *Статус* – который автоматически дается самой системой электронного документооборота;

- *Номер и дата поступления документа* – эти данные вносятся в документ автоматически или ручным способом;

- *Время и дата создания документа* – эти данные в документе отмечаются во время его создания;

- *Классификация* – выбираются заголовок и подраздел документа;

- *Контроль* – этот параметр выбирается при входе документа в систему с контролем;

- *Номенклатура* – указывается форма документа, в соответствии с государственным стандартом;

- *Вид документа* – заявление, жалоба, предложение и т.д.;

- *Шаблонный маршрут* – в зависимости от заголовка документа выбирается маршрут его движения. Возможно создание нового маршрута или вносить изменения к существующему; -

- *Кому* – указывается адрес личности, которому направлен документ;

- *Форма доставки* – персонально, курьером, телефоном, факсом, э-маилом и т.д.;

- *Краткое содержание* – кратко и ясно излагается содержание документа. В этом показателе должна быть в ясном виде приведена назначение документа. При оптимизации структуры документооборота этот показатель оценивается особенно высоко.

- *Примечание* – при необходимости, указывается специальные примечания к документу.

Основная цель усовершенствования структуры документооборота является достижение минимальной трудности составления документов, путем сокращения повторяемости показателей в документах, упрощения их движения по маршрутам решения управленческих функций предприятия.

Для достижения поставленной цели авторами настоящей работы рассмотрена задача оптимизации структуры документооборота, путем сокращения количество показателей находящихся в составе документов.

## 2. Постановка задачи оптимизации структуры документооборота

Пусть исследуется система документооборота организации водоснабжения. Требуется составить и решить задачу оптимизации структуры документооборота. В этой задаче основными характеристиками критерии эффективности являются *повышение ценности и уменьшение повторяемости* показателей в документах. С этой целью вводятся новые характеристики: *коэффициент ценности* и *коэффициент не повторяемости* показателей.

*Коэффициент ценности* показателя определяется на основе наличия объема информации в его составе, сложности содержания

документа и его необходимости, а коэффициент не повторяемости показателя определяется обратным значением количества его наличия в различных документах. Эти коэффициенты определяются опытными специалистами – экспертами и составляются в виде таблицы.

На основе вышеуказанных коэффициентов составляется постановка задачи оптимизации, решением которого определяются необходимые параметры документооборота.

Таким образом предположим, что в системе документооборота предприятия имеется  $N$  количество документов. В составе каждого  $n$ -го документа предварительно находятся  $I_n$  количество различных показателей. Обозначим коэффициент ценности каждого  $i$ -го показателя  $n$ -го документа  $c_{n,i}$ , коэффициент его не повторяемости  $p_{n,i}$ , а параметр наличия этого показателя в составе документа  $x_{n,i}$ . Если наличие  $i$ -го показателя в  $n$ -м документе считается обязательным, то принимается  $x_{n,i} \geq 1$ , в противном случае  $x_{n,i} \leq 0$ . При этом, степень ценности и не повторяемости будем считать выражение  $(c_{n,i} + p_{n,i})x_{n,i}$ .

В качестве критерий эффективности принимаем сумму степеней ценности и не повторяемости:

$$C = \sum_{n=0}^N \sum_{i=1}^{I_n} (c_{n,i} + p_{n,i})x_{n,i} \quad (1).$$

Таким образом, поставленная задача оптимизации структуры документов системы документооборота предприятия заключается в нахождении значений параметров

$x_{n,i}, n = \overline{1, N}, i = \overline{1, I_n}$ , максимизирующих значение целевой функции (1):

$$C = \sum_{n=0}^N \sum_{i=1}^{I_n} (c_{n,i} + p_{n,i})x_{n,i} \rightarrow \max \quad (2)$$

и удовлетворяющих следующей системе ограничений:

- ограничения на количество показателей каждого документа

$$1 \leq \sum_{i=1}^{I_n} x_{n,i} \leq I_n, n = \overline{1, N}; \quad (3)$$

- ограничения на общую сумму степеней ценности и не повторяемости показателей в системе документооборота

$$S_n = \min \sum_{i=1}^{I_n} (c_{n,i} + p_{n,i})x_{n,i} \rightarrow \max_{\overline{1, N}} \quad (4)$$

- условия не отрицательности показателей:

$$x_{n,i} \geq 0, n = \overline{1, N}, i = \overline{1, I_n} \quad (5)$$

- условия целостности показателей:

$x_{n,i}, n = \overline{1, N}, i = \overline{1, I_n}$  могут получить целые значения. (6)

Здесь  $I_n$  – общее количество наличия показателей в  $n$ -м документе;  $S_n^{\min}$  и  $S_n^{\max}$  – минимальная и максимальная степень ценности и не повторяемости этих показателей в документе.

Произведем упрощение задачи путем перехода к переменным с одним индексом.

Примем  $I_0=0$  и введем новые номера счета  $J$  и  $j$  таким образом:  $J = \sum_{n=1}^N I_n$ ,  $j = \sum_{l=0}^{n-1} I_l + i$ ;  $n = \overline{1, N}, i = \overline{1, I_n}$ . С учетом этой индексации примем  $\alpha_j = c_{n,i} + p_{n,i}$  и,  $y_j = x_{n,i}$ ,  $j = \overline{1, J}$ .

При этом задачу (1) – (5) можно переписать в следующем виде:

$$C = \sum_{j=1}^J \alpha_j y_j \rightarrow \max; \quad (7)$$

$$1 \leq \sum_{j=J_{n-1}+1}^{J_k} y_j \leq I_n, n = \overline{1, N}; \quad (8)$$

$$S_n = \min \sum_{j=J_{n-1}+1}^{J_n} \alpha_j y_j \rightarrow \max_{\overline{1, N}}; \quad (9)$$

$$y_j \geq 0, j = \overline{1, J}; \quad (10)$$

показатели  $y_j, j = \overline{1, J}$  могут получить целые значения. (11)

Для решения задачи (7) – (11) используется метод целочисленного линейного программирования. В результате решения задачи определяются значения обязательных показателей всех документов системы документооборота и, путем сокращения показателей со значениями  $y_{n,i} < 1$ , минимизируются расходы делопроизводства на управление системой документооборота организации водоснабжения.

### 3. Пример решения поставленной задачи оптимального управления

Рассмотрим решение задачи (7) – (11) на примере конкретного объекта управления водоснабжением.

Пусть требуется составить задачу оптимизации структуры документооборота, состоящего из 4 документов, в которых соответственно имеются 3, 4, 5, 6 показателей. Исходные данные для постановки задачи приведены в табл. 1.



В результате решения задачи (12)-(16) с помощью системы Матлаб для переменных  $y$  и  $p$  получены следующие значения [6]:

$$y = 3.1391 \ 2.9333 \ 2.7412 \ 3.9704 \ 4.0145 \ 2.0910 \ 1.6232 \ 5.6976 \ 0.5864 \ 0.3825$$

$$0.3825 \ 7.2622 \ 0.0010 \ 7.3911 \ 0.0000 \ 7.3913 \ 2.2492 \ 0.0004 \quad (17)$$

$$p = 24.5181.$$

По результатам видно, что почти все компоненты целевой функции имеют нецелые значения, а оптимальное значение целевой функции достаточно большое. Для получения целых значений компонентов, на основе ограничений с нецелыми показателями составляются новые дополнительные ограничения и задача линейного программирования решается заново. Продолжая таким образом, через нескольких этапов получаем целые значения всех показателей  $y$ :

$$y = 3 \ 2 \ 2 \ 3 \ 4 \ 2 \ 1 \ 5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 7 \ 0 \ 7 \ 0 \ 7 \ 2 \ 0$$

При этом, максимальная эффективность суммы ценности и не повторяемости документов будет:  $p = 5,5401$ .

Сопоставляя переменные  $y$  с переменными  $x$ , для соответствующих показателей получаем следующие целые значения:  $x_{1,1}=3$ ;  $x_{1,2}=2$ ;  $x_{1,3}=2$ ;  $x_{2,1}=3$ ;  $x_{2,2}=4$ ;  $x_{2,3}=2$ ;  $x_{2,4}=1$ ;  $x_{3,1}=5$ ;  $x_{3,2}=0$ ;  $x_{3,3}=0$ ;  $x_{3,4}=0$ ;  $x_{3,5}=7$ ;  $x_{4,1}=0$ ;  $x_{4,2}=7$ ;  $x_{4,3}=0$ ;  $x_{4,4}=7$ ;  $x_{4,5}=2$ ;  $x_{4,6}=0$ .

Таким образом, для документов системы документооборота, состоящего из 4 документа важными показателями являются:  $x_{1,1}$ ;  $x_{1,2}$ ;  $x_{1,3}$ ;  $x_{2,1}$ ;  $x_{2,2}$ ;  $x_{2,3}$ ;  $x_{2,4}$ ;  $x_{3,1}$ ;  $x_{3,5}$ ;  $x_{4,2}$ ;  $x_{4,4}$ ;  $x_{4,5}$ .

#### 4. Заключение.

Рассмотренная задача оптимальности позволяет сократить число неважных и повторяющихся показателей в документах системы документооборота предприятия, в результате которого минимизируется трудоемкость

составления и оформления документов в системе. Например, в рассмотренной задаче, число важных показателей в 4-м документе уменьшилась от 18 до 12, т.е. на 33,4%. Исходя из этого, путем решения задачи для предприятия с многочисленными документами, можно определить состав показателей в системе документооборота и сократить трудоемкость управления деопроизводства до 30-35%.

#### Литература.

1. Андреева, В.И. Делопроизводство. Требования к документообороту фирмы (на основе ГОСТов РФ) / В.И. Андреева. - М.: Бизнес-школа Интел-Синтез; Издание 2-е, перераб. и доп., 2016. - 222 с.
2. Даниленко, А. Ю. Безопасность систем электронного документооборота. Технология защиты электронных документов / А.Ю. Даниленко. - М.: Ленанд, 2015. - 232 с.
3. Захаркина, О. И. Кадровая служба предприятия. Делопроизводство, документооборот и нормативная база / О.И. Захаркина, Д.Е. Гусятникова. - М.: Омега-Л, 2010. - 264 с.
4. Рогожин, М. Ю. Делопроизводство и документооборот в бухгалтерии / М.Ю. Рогожин. - М.: ГроссМедиа, РОСБУХ, 2011. - 248 с.
5. Прохоренко, Д. М. Электронный документооборот в программе Microsoft Outlook 2007 / Д.М. Прохоренко. - М.: РИВШ, 2010. - 518 с.
- 1.6. Ануфриев, И.Е. Самоучитель Матлаб 5.3/6х. / Санкт Петербург, «БХВ – Петербург», 2004 г., 736 с.

УДК 631.811.98 + 581.091

**ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРА РОСТА ЭКОПИНА НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН И  
БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ПИХТЫ ЦЕЛЬНОЛИСТНОЙ (*ABIES  
HOLOPHYLLA* MAXIM.)**DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.611](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.611)**Острошенко В.Ю.**

М.н.с.,

ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты  
Восточной Азии ДВО РАН,  
г. Владивосток.**Острошенко Л.Ю.**

Канд. биол. наук,

доцент кафедры лесоводства,  
ФГБОУ ВО Приморская государственная  
сельскохозяйственная академия,  
г. Уссурийск.**EFFECT OF THE GROWTH STIMULATOR EKOPIN ON SAWING QUALITIES OF SEEDS AND  
BIOMETRIC PARAMETERS OF MANCHURIAN FIR (*ABIES HOLOPHYLLA* MAXIM.) SPROUTS****Ostroshenko V.Yu.**

Junior scientist,

Federal Scientific Center  
of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS,  
Vladivostok.**Ostroshenko L.Yu.**

Cand. of biological sciences,

associate professor of forestry department,  
Federal State-Financed Educational Institution  
of Higher Education The Primorskiy state agricultural academy,  
Ussurisk.**АННОТАЦИЯ**

Представлены результаты влияния стимулятора роста Экопин различных концентраций на энергию прорастания, лабораторную всхожесть семян и биометрические показатели проростков пихты цельнолистной (*Abies holophylla* Maxim.).

Экопин оказал наиболее стимулирующий эффект на энергию прорастания - во всех концентрациях растворов и на лабораторную всхожесть - при концентрациях  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$  мл/л. На нарастание проростков по длине положительное влияние оказали все исследуемые концентрации растворов препарата, по массе - концентрации -  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$  мл/л.

**ABSTRACT**

The results on the effect of the growth stimulator Ekopin of different concentrations on germinative energy, laboratory germination and biometric parameters of Manchurian fir (*Abies holophylla* Maxim.) sprouts are presented.

Ekopin had the most stimulating effect on germinative energy - in all solution concentrations, on the laboratory germination with concentrations  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$  ml/l. All studied solution concentrations of the preparation had positive effect on the growth of biometric parameters of sprouts along the length and the concentrations  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$  ml/l - along the mass.

**Ключевые слова:** пихта цельнолистная, стимулятор роста, Экопин, энергия прорастания, лабораторная всхожесть, проростки, длина и масса.

**Key words:** Manchurian fir, the growth stimulator, Ekopin, germinative energy, laboratory germination, sprouts, length and mass.

**Введение.**

Уникальным биологическим разнообразием, обусловленным природными и историческими факторами, своеобразием лесообразовательного процесса, девственной лесной растительностью, являющейся естественной средой обитания большинства видов флоры и фауны, в том числе и краснокнижных, выделяется Приморский край [15].

В южной части края распространены чернопихтово-широколиственные леса, где главным лесообразователем в них, наряду с кедром корейским, является пихта цельнолистная (*Abies holophylla* Maxim.) [1].

Это ценное реликтовое растение и самая мощная, крупная древесная порода, произрастающая на Российском Дальнем Востоке. Этому виду свойственен полиморфизм,

свидетельствующий как о его древности, так и приспособленности к достаточно жесткому климату [12]. Является горноукрепительной древесной породой [13,14].

В соответствии с приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 5 декабря 2011 г. № 513 «Об утверждении Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается», в этот документ включена и пихта цельнолистная [11]. Несмотря на административные запреты, продолжается сокращение ее ареала, в результате хозяйственной деятельности человека: интенсивной промышленной заготовки древесины, рубок местного населения на «новогодние елки» и уничтожением подроста лесными пожарами [13,14]. В настоящее время чернопихтово-широколиственные леса занимают около 23 тыс. га [3].

Биологические и экологические особенности пихты цельнолистной, высокое народохозяйственное значение, незначительность занимаемой территории требуют охраны и проведения активных мер по ее воспроизводству.

Основными направлениями по сохранению дальневосточной пихты являются охрана лесов от лесных пожаров, незаконных рубок спелой древесины и интенсификация работ по лесовосстановлению, за счет применения стимуляторов роста, положительно зарекомендовавших себя в опытных работах, проводимых в последние десятилетия в лесном хозяйстве [7, 9-10].

Настоящая работа посвящена изучению эффективности стимулятора роста Экопин при проращивании семян пихты цельнолистной. Данный стимулятор роста положительно зарекомендовал себя в сельском хозяйстве [4,6]. Начаты исследования по возможности его применения в лесном хозяйстве [16,17].

**Цель исследований** – изучение стимулирующего эффекта водного раствора биопрепарата Экопин и выявление доз активизирующих энергию прорастания, лабораторную всхожесть семян и биометрические показатели нарастания проростков пихты цельнолистной.

Исходя из поставленной цели, решались следующие **задачи**:

- замачивание семян пихты цельнолистной в водных растворах стимулятора роста Экопин различных концентраций;
- проращивание семян в лабораторных условиях;
- анализ влияния стимулятора роста Экопин на энергию прорастания, лабораторную всхожесть и нарастание проростков по длине и массе.

#### **Материалы и методы.**

Объект настоящих исследований – семена пихты цельнолистной, заготовленные на территории ГТС – филиала ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН.

Выявление стимулирующего эффекта препарата Экопин на посевные качества семян проводили в лабораторных условиях, согласно действующих ГОСТа и ОСТа [2,8].

Опыт состоял из 7-ми вариантов (концентрации растворов препарата и воды составили:  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$  мл/л) и контроль – семена, замачиваемые в дистиллированной воде. Принятое соотношение объема семян и раствора 1:5. Все эксперименты выполнены в четырехкратной повторности. Электронным штангенциркулем измеряли длину проростков. Их массу взвешивали на электронных весах. Материалы опытов подвергали статистической обработке в прикладной программе Microsoft Excel 2007. Достоверность различий средних величин с контролем рассчитывали по t-критерию Стьюдента [5].

#### **Результаты.**

Биопрепарат **Экопин** – стимулятор роста природного происхождения. Состоит из 6,2 г/кг поли-бета-гидроксимасляной кислоты + терпеновые кислоты + набор элементов питания и представляет концентрированный продукт биосинтеза полезных почвенных бактерий + стартовый набор элементов питания. Универсальный биостимулятор роста и развития растений, обладающий антистрессовым эффектом. В основе препарата содержится сконцентрированный продукт биосинтеза полезных почвенных бактерий и стартовый набор элементов питания [18].

Стимулятор роста Экопин оказал положительное влияние на энергию прорастания семян пихты цельнолистной во всех испытываемых концентрациях растворов, которая составила 13,0-25,0 % (превышение к контролю 30,0-150,0 %).

Положительное воздействие на проращивание семян оказали концентрации растворов  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$  мл/л, при которых лабораторная всхожесть семян колебалась в пределах 39,1-60,0 % (превышение к контролю 1,8-56,3 %). Классы качества семян повысились: с третьего - до второго и первого. Концентрации растворов  $1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$  мл/л более активно повлияли на лабораторную всхожесть. Отмечена существенность различий с контролем на высоком доверительном уровне:  $t_{0,01} = 5,8 > t_{st} = 3,71$  и  $t_{0,01} = 6,1 > t_{st} = 3,71$ . Концентрации  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$  и  $1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$  мл/л оказали менее значительное влияние на лабораторную всхожесть семян, превысив показатели контрольной группы на 1,8-2,3 %. Самая низкая концентрация раствора ( $1 \cdot 10^{-3}$  мл/л) - не эффективна (процент снижения к контролю 2,6 %) (таблица 1).

Таблица 1.

**Влияние стимулятора роста Экопин на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян  
пихты цельнолистной (*Abies holophylla* Maxim.)**

Дата очередного подсчета проростков, дни	Контроль (вода дистил- лирован- ная)	Концентрации растворов, мл /л						
		$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество проросших семян, %.								
7-ой	2,5±0,9	4,8±0,9	4,5±1,0	5,0±0,4	9,0±1,3	7,3±2,6	7,5±0,7	6,0±0,7
% к контролю		+92,0	+80,0	+100,0	+260,0	+192,0	+200,0	+140,0
Достоверность, $t_m$	2,9	5,6	4,3	12,2	7,0	2,8	11,5	8,5
Точность опыта (P), %	34,8	17,9	23,1	8,2	14,3	35,6	8,7	11,8
10-ый	7,3±1,1	9,3±1,6	10,5±0,7	8,0±0,9	15,8±0,6	11,5±1,0	10,8±1,7	9,0±2,1
% к контролю		+27,4	+43,8	+9,6	+116,4	+57,5	+47,9	+23,3
Достоверность, $t_m$	6,6	5,8	16,2	8,7	25,1	11,1	6,5	4,3
Точность опыта (P), %	15,2	17,2	6,2	11,5	4,0	9,0	15,3	23,1
15-ый	15,3±1,6	9,0±0,4	11,0±1,2	14,0±0,8	16,5±1,6	13,0±0,9	13,3±0,5	11,0±1,1
% к контролю		-41,2	-28,1	-8,5	+7,8	-15,0	-13,1	-28,1
Достоверность, $t_m$	9,9	22,0	8,9	17,1	10,6	14,1	27,7	10,2
Точность опыта (P), %	10,1	4,6	11,2	5,9	9,5	7,1	3,6	9,8
20-ый	9,3±0,6	9,8±0,5	9,3±0,9	14,0±1,3	11,8±1,7	10,8±1,0	7,8±1,1	8,8±2,3
% к контролю		+5,4	-	+50,5	+26,9	+16,1	-16,1	-5,4
Достоверность, $t_m$	14,8	20,4	10,8	10,9	7,2	11,4	7,0	3,9
Точность опыта (P), %	6,8	4,9	9,2	9,2	14,0	8,8	14,2	25,6
25-ый	4,0±0,9	4,5±0,9	3,8±0,9	3,3±0,5	6,5±0,7	8,5±0,3	4,0±0,4	4,5±0,5
% к контролю		+12,5	-5,0	-17,5	+62,5	+112,5	-	+12,5
Достоверность, $t_m$	4,3	5,2	4,4	6,9	10,0	29,3	9,8	9,0
Точность опыта (P), %	23,0	19,3	22,6	14,5	10,0	3,4	10,3	11,1
Энергия прорастания, %	10,0	14,1	15,0	13,0	25,0	19,0	18,3	15,0
Всхожесть, %	38,4	37,4	39,1	44,3	60,0*	51,1*	43,4	39,3
$t_\phi$		0,4	0,1	2,3	5,8	6,1	2,0	0,3
Число не проросших, шт.	62,0	63,0	61,0	56,0	40,0	49,0	57,0	61,0

здоровых	17,0	18,0	17,0	16,0	8,0	12,0	15,0	19,0
загнивших	5,0	5,0	3,0	3,0	1,0	2,0	2,0	4,0
запаренных	5,0	4,0	2,0	2,0	1,0	1,0	3,0	2,0
пустых	11,0	17,0	19,0	19,0	16,0	18,0	17,0	19,0
не нормально проросших	20,0	18,0	20,0	16,0	14,0	15,0	17,0	16,0
поврежден-ные вредителями	4,0	1,0	-	-	-	1,0	3,0	1,0

Примечание: концентрации раствора:  $1 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/1л,  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/2л,  $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/3л ...

\* - различия достоверны

На нарастание проростков по длине положительный эффект оказали все исследуемые концентрации растворов. Превышение к контролю составило 7,1-38,5 %. Отмечена существенность различий с контролем:  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$  при  $P = 0,05$  %,  $P = 0,01$  % (таблица 2, рисунок 1).

На нарастание проростков по массе, стимулятор роста Экопин оказал положительное влияние при концентрациях растворов  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$  -  $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$  мл/л; превышение к контролю - 2,7-25,4 % (таблица 3, рисунок 2).

При концентрациях растворов  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$  -  $1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$  мл/л, на 25-ый день отмечена существенность

различий с контролем:  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$  при  $P = 0,05$  %. Концентрации растворов  $1 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$  -  $1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$  мл/л на нарастание проростков оказали слабое влияние. При концентрации  $1 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$  мл/л, с 10-го по 20-ый дни учета наблюдалось снижение массы проростков, по отношению к контролю, на 5,3-7,6 %. Однако на 7-ой и 25-ый дни учета отмечено ее превышение, на 2,8-18,6 %. При концентрации  $1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$  мл/л снижение, по отношению к контролю составило, 2,8-10,8 %. Самая низкая концентрация ( $1 \cdot 10^{-3}$  мл/л) оказалась не эффективной. Отмечено снижение по отношению к контролю на 6,7-29,7 %.

Таблица 2.

**Влияние стимулятора роста Экопин на нарастание проростка по длине при проращивании семян пихты цельнолистной (*Abies holophylla* Maxim.)**

Дата очередного подсчета проростков, дни	Контроль (вода дистиллированная)	Концентрации растворов, мл /л						
		$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Средняя длина проростка, см								
7-ой	1,2±0,1	1,5±0,1*	1,5±0,1*	1,6±0,1*	1,5±0,1*	1,6±0,1*	1,6±0,1*	1,5±0,1*
$t_{\phi}$		5,5	4,3	5,0	3,3	5,0	7,2	5,5
% к контролю		+25,0	+25,0	+33,3	+25,0	+33,3	+33,3	+25,0
Достоверность, $t_m$	17,1	50,0	50,0	32,0	16,7	32,0	53,3	50,0
Точность опыта (P), %	5,8	2,0	2,0	3,1	6,0	3,1	1,9	2,0
10-ый	1,3±0,1	1,5±0,1*	1,6±0,1*	1,5±0,1*	1,6±0,1*	1,6±0,1*	1,5±0,1*	1,4±0,1
$t_{\phi}$		2,5	4,7	3,0	4,0	5,0	3,8	1,4
% к контролю		+15,4	+23,1	+15,4	+23,1	+23,1	+15,4	+7,7
Достоверность, $t_m$	32,5	30,0	32,0	30,0	22,9	53,3	30,0	15,6
Точность опыта (P), %	3,1	3,3	3,1	3,3	4,4	1,9	3,3	6,4
15-ый	1,3±0,1	1,5±0,1*	1,6±0,1*	1,6±0,1*	1,8±0,1*	1,6±0,1*	1,5±0,1	1,4±0,1*
$t_{\phi}$		5,0	7,3	8,3	9,0	8,3	2,4	3,3
% к контролю		+15,4	+23,1	+23,1	+38,5	+23,1	+15,4	+7,7
Достоверность, $t_m$	43,3	50,0	53,3	53,3	36,0	53,3	21,4	46,7
Точность опыта (P), %	2,3	2,0	1,9	1,9	2,8	1,9	4,7	2,1
20-ый	1,4±0,1	1,3±0,1	1,5±0,1	1,5±0,1	1,6±0,1*	1,6±0,1*	1,4±0,1	1,4±0,1
$t_{\phi}$		0,2	2,1	2,1	2,9	2,6	-	0,5
% к контролю		-7,1	+7,1	+7,1	+14,3	+14,3	-	-
Достоверность, $t_m$	20,0	14,4	37,5	37,5	32,0	40,0	20,0	46,7
Точность опыта (P), %	5,0	6,9	2,7	2,7	3,1	2,5	5,0	2,1
25-ый	1,3±0,1	1,3±0,1	1,4±0,1	1,5±0,1*	1,6±0,1*	1,5±0,1*	1,4±0,1	1,4±0,1
$t_{\phi}$		0,3	1,9	2,5	3,4	3,1	1,5	1,9
% к контролю		-	+7,7	+15,4	+23,1	+15,4	+7,7	+7,7
Достоверность, $t_m$	16,3	18,6	28,0	30,0	53,3	30,0	35,0	28,0
Точность опыта (P), %	6,2	5,4	3,6	3,3	1,9	3,3	2,9	3,6

Примечание: концентрации раствора:  $1 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/1л,  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/2л,  $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/3л ....  
- различия достоверны

Таблица 3.

**Влияние стимулятора роста  
Экопин на нарастание массы проростка при проращивании семян пихты цельнолистной  
(*Abies holophylla* Maxim.)**

Дата очередного подсчета проростков, дни	Контроль (вода дистиллированная)	Концентрации растворов, мл /л						
		$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Средняя масса проростка, мг								
7-ой	7,1±0,9	5,5±0,5	7,5±0,3	8,3±0,3	7,6±0,3	7,8±0,2	7,3±0,1	6,9±0,2
$t_{\phi}$		1,7	0,4	1,2	0,5	0,8	0,2	0,2
% к контролю		-22,5	+5,6	+16,9	+7,0	+9,9	+2,8	-2,8
Достоверность, $t_m$	7,8	12,2	26,8	30,7	28,1	43,3	66,4	32,9
Точность опыта (P), %	12,8	8,2	3,7	3,3	3,6	2,3	1,5	3,0
10-ый	7,5±0,5	7,0±0,3	8,4±0,2	8,2±0,1	8,1±0,2	8,3±0,3	7,1±0,1	6,9±0,4
$t_{\phi}$		0,8	1,8	1,3	1,2	1,4	0,8	0,8
% к контролю		-6,7	+12,0	+9,3	+8,0	+10,7	-5,3	-8,0
Достоверность, $t_m$	14,4	20,6	46,7	68,3	50,6	25,9	64,5	16,4
Точность опыта (P), %	6,9	4,9	2,1	1,5	2,0	3,9	1,5	6,1
15-ый	7,9±0,6	6,8±0,3	8,3±0,2	8,5±0,1	8,9±0,2	8,2±0,2	7,3±0,3	7,1±0,3
$t_{\phi}$		1,7	0,5	0,8	1,4	0,3	0,9	1,3
% к контролю		-13,9	+5,1	+7,6	+12,7	+3,8	-7,6	-10,1
Достоверность, $t_m$	12,3	25,2	51,9	77,3	40,5	35,7	25,2	28,4
Точность опыта (P), %	8,1	4,0	1,9	1,3	2,5	2,8	4,0	3,5
20-ый	7,4±0,7	5,2±0,7	7,9±0,5	8,0±0,2	8,3±0,2	7,6±0,6	7,0±0,2	6,6±0,1
$t_{\phi}$		2,4	0,5	0,8	1,2	0,2	0,6	1,2
% к контролю		-29,7	+6,8	+8,1	+12,2	+2,7	-5,4	-10,8
Достоверность, $t_m$	10,9	8,0	16,5	40,0	41,5	13,1	33,3	47,1
Точность опыта (P), %	9,2	12,5	6,1	2,5	2,4	7,6	3,0	2,1
25-ый	5,9±0,4	5,2±0,8	7,3±0,3*	7,2±0,2*	7,4±0,4*	7,0±0,3	7,0±0,2	6,3±0,1
$t_{\phi}$		0,8	2,6	2,7	2,5	2,1	2,3	0,9
% к контролю		-11,9	+23,7	+22,0	+25,4	+18,6	+18,6	+6,8
Достоверность, $t_m$	13,7	6,3	25,2	32,7	17,2	22,6	35,0	48,5
Точность опыта (P), %	7,3	15,8	4,0	3,1	5,8	4,4	2,9	2,1

Примечание: концентрации раствора:  $1 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/1л,  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/2л,  $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$  - 1мл/3л ....

\* - различия достоверны

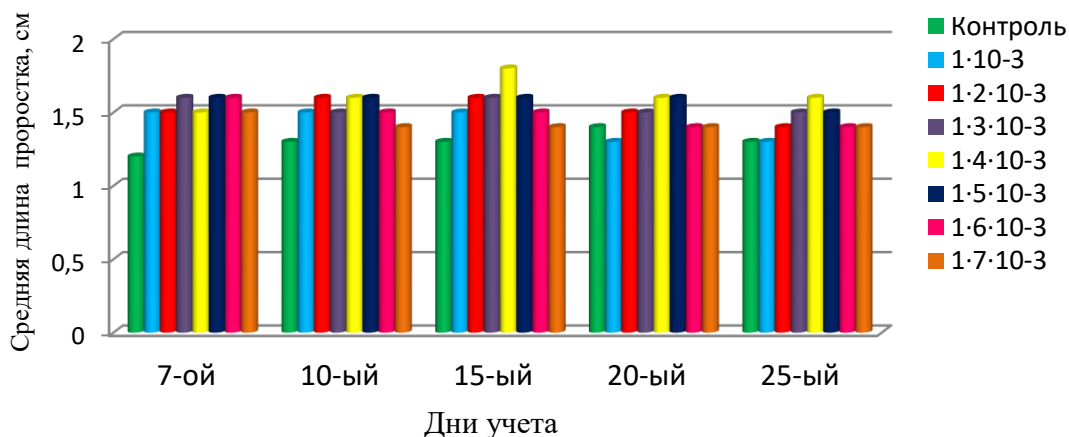


Рисунок 1 - Влияние стимулятора роста Экопин на нарастание длины проростка при проращивании семян пихты цельнолистной (*Abies holophylla Maxim.*)

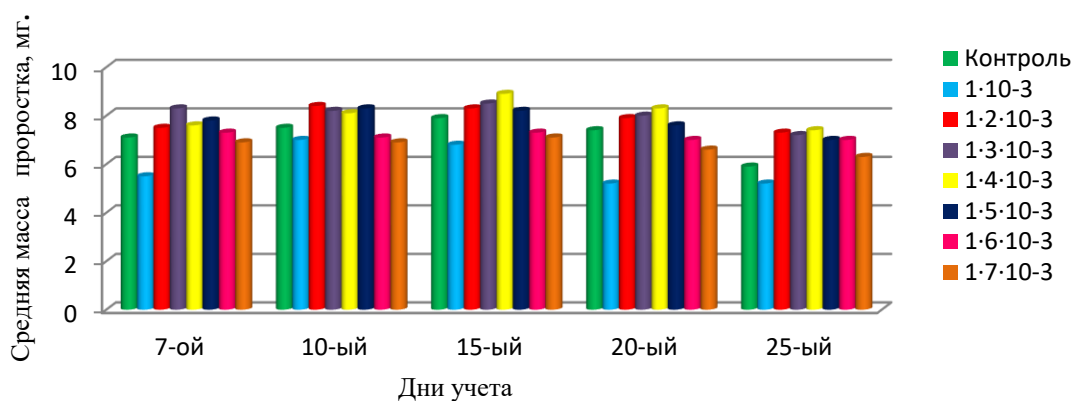


Рисунок 2 - Влияние стимулятора роста Экопин на нарастание массы проростка при проращивании семян пихты цельнолистной (*Abies holophylla Maxim.*)

### Выводы

1. Стимулятор роста Экопин оказал положительное влияние на энергию прорастания во всех концентрациях растворов и на лабораторную всхожесть семян пихты цельнолистной при концентрациях растворов  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 7 \cdot 10^{-3}$  мл/л.

2. На нарастание проростков по длине наиболее стимулирующий эффект оказали все исследуемые концентрации растворов препарата, по массе - концентрации растворов  $1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$  мл/л.

### Список литературы:

1. Васильев Н.Г., Колесников Б.П. Чернопихтово-широколиственные леса Южного Приморья. М.-Л.: Издательство АН СССР; 1962. [Vasil'yev NG, Kolesnikov BP Chernopikhtovo-shirokolistvennyye lesa Yuzhnogo Primor'ya. M.-L.: Izdatel'stvo AN SSSR; 1962. (In Russ).]
2. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. М.:

Изд-во стандартов; 1997. [GOST 13056.6-97. Semena derev'yev i kustarnikov. Metod opredeleniya vskhozhesti. M.: Izd-vo standartov; 1997. (In Russ).]

3. Гуков Г.В., Гриднев А.Н., Гриднева Н.В. Пихта цельнолиственная в Приморском крае (современное состояние, проблемы искусственного лесоразведения) // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 29-34. [Gukov GV, Gridnev AN, Gridneva NV Pikhta tsel'nolistnaya v Primorskom krae (sovremennoye sostoyaniye, problemy iskusstvennogo lesorazvedeniya) // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2017; 10: 29-34. (In Russ).]

4. Дайнеко Т.М. Применение регулятора роста растений Экопин на картофеле // Агроклиматические аспекты устойчивого развития АПК. 2017. С. 473-476. [Dayneko TM Primeneniye regul'yatora rosta rasteniy Ekopin na kartofele // Agroklimaticheskiye aspekty ustoychivogo razvitiya APK. 2017: 473-476. (In Russ).]

5. Доев С.К. Математические методы в лесном хозяйстве: учебное пособие. Усурийск: ПГСХА; 2001. [Doyev SK Matematicheskiye metody v lesnom khozyaystve: uchebnoye posobiye. Ussuriysk: PGSKHA; 2001. (In Russ).]

6. Мажуга Г.Е. Биологическая эффективность регулятора роста растений Экопин, ТПС на луке репчатом в условиях приазовской зоны Ростовской области // Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии. 2019. С 702-705. [Mazhuga GYe Biologicheskaya effektivnost' regulatora rosta rasteniy Ekopin, TPS na luke repchatom v usloviyakh priazovskoy zony Rostovskoy oblasti // Aktual'nyye problemy prirodoobustroystva, vodopol'zovaniya, agrokhimii, pochvovedeniya i ekologii. 2019: 702-705. (In Russ).]

7. Никитенко Е.А., Гуль Л.П., Король Л.А. Изучение стимуляторов роста при выращивании посадочного материала дальневосточных древесных пород // Проблемы охраны лесов и многоцелевого лесопользования на Дальнем Востоке. 2005. Вып. 38. С. 171-175. [Nikitenko YeA, Gul' LP, Korol' LA Izucheniye stimulyatorov rosta pri vyrashchivaniy posadochnogo materiala dal'nevostochnykh drevesnykh porod // Problemy okhrany lesov i mnogotselevogo lesopol'zovaniya na Dal'nem Vostoke. 2005; 38: 171-175. (In Russ).]

8. ОСТ 56-27-77. Семена деревьев и кустарников Посевные качества. (введ. в действие с 1 июля 1978 г.). М.:ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1978. 8с. [OST 56-27-77. Semena derev'yev i kustarnikov Posevnyye kachestva. (vved. v deystviye s 1 iyulya 1978 g.). M.:TSBNTI Gosleskhoza SSSR, 1978: 8. (In Russ).]

9. Острошенко В.Ю. Применение стимуляторов роста в повышении экологической роли дальневосточных хвойных лесов // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур. 2015. С. 120-124. [Ostroshenko VYu Primeneniye stimulyatorov rosta v povyshenii ekologicheskoy roli dal'nevostochnykh khvoynykh lesov // Filosofiya sovremennogo prirodopol'zovaniya v bassejne reki Amur. 2015: 120-124. (In Russ).]

10. Пентелькина Н.В. Влияние новых стимуляторов на качество семян хвойных пород // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. 2003. Вып. 5. С. 122-125. [Penel'kina NV Vliyaniye novykh stimulyatorov na kachestvo seyantsev khvoynykh porod // Lesnoy kompleks: sostoyaniye i perspektivy razvitiya. 2003; 5: 122-125. (In Russ).]

11. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) от 5 декабря 2011 г. № 513 г. Москва «Об утверждении Перечня видов (пород)

деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается. [Prikaz Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva (Rosleskhaz) ot 5 dekabrya 2011 g. № 513 g. Moskva «Ob utverzhdenii Perechnya vidov (porod) derev'yev i kustarnikov, zagotovka drevesiny kotorykh ne dopuskayetsya. (In Russ).]

12. Урусов В.М. География хвойных Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука; 1995. [Urusov VM Geografiya khvoynykh Dal'nego Vostoka. Vladivostok: Dal'nauka; 1995. (In Russ).]

13. Урусов В.М., Лобанова И.И., Варченко Л.И. Хвойные российского Дальнего Востока – ценные объекты изучения, охраны, разведения и использования. Владивосток: Дальнаука; 2007. [Urusov VM, Lobanova II, Varchenko LI Khvoynyye rossiyskogo Dal'nego Vostoka – tsennyye ob'yekty izucheniya, okhrany, razvedeniya i ispol'zovaniya. Vladivostok: Dal'nauka; 2007. (In Russ).]

14. Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока. Хабаровск: Кн. изд-во; 1969. [Usenko NV Derev'ya, kustarniki i liany Dal'nego Vostoka. Khabarovsk: Kn. izd-vo; 1969. (In Russ).]

15. Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока: справ. книга. Хабаровск: Приамурские ведомости; 2009. [Usenko NV Derev'ya, kustarniki i liany Dal'nego Vostoka: sprav. kniga. Khabarovsk: Priamurskiye vedomosti; 2009. (In Russ).]

16. Ostroshenko V.Yu. The application efficiency of growth stimulant Ecopin on sowing qualities of Scots pine seeds (*Pinus silvestris* L.) // Bioscience Biotechnology Research Communications. 2019. Vol. 12 (5). P. 285-293. [Ostroshenko VYu The application efficiency of growth stimulant Ecopin on sowing qualities of Scots pine seeds (*Pinus silvestris* L.) // Bioscience Biotechnology Research Communications. 2019;12 (5): 285-293.]

17. Ostroshenko V.Yu. The effect of stimulants on biometric indicators of growth of Khingan fir seedlings (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) in the conditions of Primorsky Krai // International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. 2019. Vol. 10 (17). doi: 10.14456/ITJEMAST.2019.243 [Ostroshenko VYu The effect of stimulants on biometric indicators of growth of Khingan fir seedlings (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) in the conditions of Primorsky Krai // International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. 2019;10 (17). doi:10.14456/ITJEMAST.2019.243.]

18. Экопин. Универсальный биостимулятор с антистрессовым эффектом. URL: <http://gropharm.ru/products/159/390>.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## ON CONVECTION STABILITY OF HYDROCARBON-OXYGEN GAS MIXTURE AND EXPLOSION SAFETY

*Palymskiy Igor B.*

*Dr. Sc., Professor of Physics Department,  
Novosibirsk city, Russia*

*Fomin Pavel A.*

*Dr. PhD, Senior Researcher of Lavrentyev Institute of  
Hydrodynamics, SB RAS, Novosibirsk city, Russia*

*Latifi Chahandachti Anouchah*

*Professor of Physics Department, Qom University of  
Technology, Qom city, Iran*

### ABSTRACT

A new physical and mathematical model of Rayleigh-Benard convection in a gas-vapor mixture of oxygen and cyclohexane is proposed, where the dependence of density on temperature has its maximum. Linear analysis of stability is performed, two threshold cases are analyzed when the density inversion parameter is large or small enough. Formulae for the growth increment and attenuation, the neutral curve and the boundary of the instability domain on the wave plane have been obtained. The convection of gas-vapor mixture is considered in connection with explosion safety of technology processes.

### АННОТАЦИЯ

Предложена новая физико-математическая модель конвекции Рэля-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. Конвекция газо-паровой смеси рассматривается применительно к проблеме взрывобезопасности технологических процессов.

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

### Introduction

Convection in the flows with monotonous dependence of density on temperature has been analyzed and described in details in [1,2]. However, in natural conditions and numerous important applications, such as transportation of hydrocarbon through pipelines and its store, convection of cold water in the process of glacial melting [3-7], convection of inert and reactive gas-vapor mixture in chemical reactors and processing systems etc., the density of the convective flows is characterized by a non-monotonous, nonlinear function of the temperature with a clear maximum at its critical point. These applications explain the necessity of studying convection in such flows. The most complicated thing in terms of theory and practical application is to study a whole range of convection regimes in the vicinity of the maximum density point, where the buoyancy force changes its sign [6,7].

We would like to emphasize that a physically natural hypothesis about the cyclohexane condensation on the walls and, hence, formation of a more viscous liquid film on them allows us to consider the boundaries impermeable and free from viscous shear [5,9]. Our analysis of the dependence of the heat expansion coefficient on temperature shows that it is reasonable to consider the coefficient to be a piecewise constant temperature function as in [8].

We see that the problem of Rayleigh-Benard convection in such a gas-vapor mixture asymptotically

turns into the classical Rayleigh problem of convective instability in incompressible fluids with impermeable horizontal boundaries in the absence of viscous shear [1], if the density maximum is reached at one of the horizontal boundaries.

We also see an evident analogy with the penetrating convection of cold water close to the point of maximum density, where the heat expansion coefficient goes through zero but is a linear temperature function [3,4], which allows us to compare and verify the model proposed [5].

In particular, the analogy with the penetrating convection of cold water suggests that if the critical temperature is higher than that of the cold boundary and lower than that of the heated one, the layer is divided into two sublayers, and the instability may develop only in the lower sublayer, whereas the upper one is always stable. In upper sublayer the internal waves is observed. The sublayer boundary is trigger generating the motions there. The situation does not change depending on whether we heat the lower or the upper layer [4].

Similar to the convection of cold water, a decrease in the relative thickness of the lower, unstable layer is likely to cause flow stabilization [3,4].

In this article, we aim at describing a new physical and mathematical model of Rayleigh-Benard convection in a gas-vapor mixture of oxygen and cyclohexane taking into account the evaporation and condensation cyclohexane processes, and provide the results of the linear analysis of stability.

**Physical properties of a gas-vapor mixture**

Convection of a gas-vapor mixture with the oxygen  $O_2$  and liquid-vapor cyclohexane  $C_6H_{12}$  is considered in view of a possible condensation of the latter on the boundaries. To be specific, the total cyclohexane mass fraction, both in condensed and vapor forms, is set as  $\beta_0 = 0.524$ .

At the critical temperature  $T_{cr}$ , all the cyclohexane added to the system evaporates. Thus, when  $T < T_{cr}$ , the cyclohexane is present as a liquid vapor condensed on the boundaries and as a saturated vapor, with the rise of temperature leading to a rapid growth of the saturated cyclohexane pressure according to (1) and a corresponding growth of the density of the gas-vapor

mixture. When  $T > T_{cr}$ , the cyclohexane is present only as an unsaturated vapor with a relatively small change in its partial pressure, and a further increase in temperature leads to a decrease in the density, according to the ideal gas-state equation.

Due to a small temperature change in the Boussinesq approximation used, the partial pressure of the oxygen is considered fixed and equal to  $1 \text{ atm}$ . The total pressure  $P$  includes the pressure of the oxygen and the vapor:  $P = 1 + P_{sv}$ .

When  $T < T_{cr}$ , the pressure of the saturated cyclohexane (atm) can be calculated according to the known absolute temperature:

$$P_{sv}(T) = 9.87 \cdot 10^{2.9764 - \frac{1206.5}{T - 273.15 + 223.14}} \quad (1)$$

When  $T > T_{cr}$ , the cyclohexane is unsaturated and has a relatively weak dependence on temperature, which can be neglected.

The molar weight of the gas mixture  $\mu$  (kg/kmol) is determined by

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

Here,  $32 \text{ kg/kmol}$  and  $84 \text{ kg/kmol}$  are molar weights of the oxygen  $O_2$  and cyclohexane  $C_6H_{12}$ , respectively. When  $T > T_{cr}$ , the molar weight of the gas-vapor mixture in the approximation described is constant.

The ideal gas density can be determined according to the equation of state for the ideal gas (Fig.1):

Here  $R$  is the universal gas constant. The temperatures of the cold and heated boundaries in Fig.1 are arbitrary, shown just to explain the formulation of the problem, and do not correspond to the real values.

The thermal expansion coefficient  $\beta$  can be calculated from

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

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

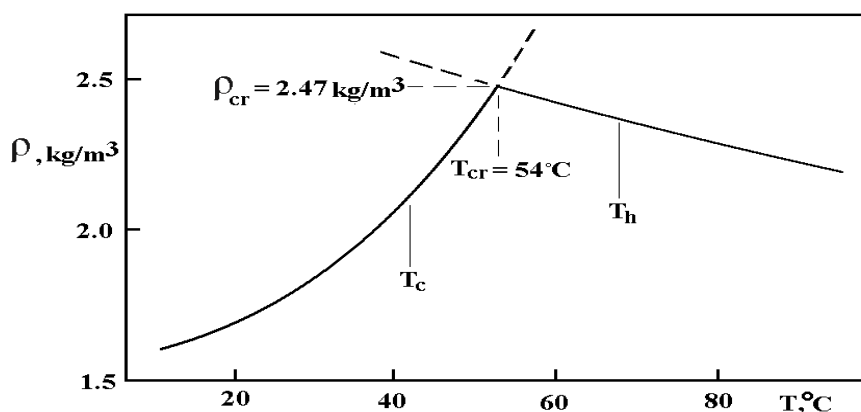


Fig. 1. Density of the gas-vapor mixture.

In our case, the density maximum is achieved inside the layer. The analysis of the thermal expansion coefficient dependence on the temperature proves that the piecewise-constant approximation with a discontinuity at the critical temperature is correct, with the coefficient ranging in the interval between  $0.003054$  in the lower unstable layer and  $-0.01583$  in the upper stable one. We should notice that at the point close to the critical temperature the kinematic viscosity  $\nu$  and the thermal diffusivity  $\chi$  are continuous functions

and in terms of the Boussinesq approximation can be considered constant.

The critical (maximum) value of the saturated cyclohexane pressure is determined by its total mass fraction, both in condensed and vapor forms,  $\beta_0$  and the corresponding critical temperature is found from reversed Eq. (1). Thus, the given  $\beta_0 = 0.524$  corresponds to the critical values of the saturated gas pressure  $P_{sv} = 0.4191 \text{ atm}$  and temperature  $T_{cr} = 54.32^\circ\text{C}$  ( $327.5 \text{ K}$ ).

As it was stated above, the temperature of the upper cold horizontal boundary  $T_c$  is lower than the critical temperature  $T_{cr}$ , and the temperature of the lower heated horizontal boundary  $T_h$  is greater than that, hence  $T_c < T_{cr} < T_h$ . Similar to the case with cold water convection, the maximum density line where  $T = T_{cr}$  divides the layer into two sublayers, the instability can develop only in the lower layer with the upper one being always stable [4]. In upper stable sublayer the internal waves is observed. The sublayer boundary is trigger generating the motions there. Relative

#### Linear analysis

By analogy with [1], in order to investigate convective stability in linear approximation, we obtain a set of equations:

$$\omega_t = \Delta\omega + C(\tau, y) \cdot Ra \cdot Q_x, \quad \Delta\psi = -\omega, \quad Q_t = (\Delta Q - \psi_x) / Pr. \quad (2)$$

Here, factor  $C(\tau, y)$  is determined as:

$$C(\tau, y) = 1, \quad 0 \leq y \leq \tau$$

and

$$-5.183, \quad \tau < y \leq 1.$$

The stream function  $\psi$  and vorticity  $\omega$  were derived from  $u = \psi_y$ ,  $v = -\psi_x$  and  $\omega = v_x - u_y$ , and  $Q$  is the deviation of temperature from the linear profile. Characteristic values are chosen as the layer thickness  $H$  for the length,  $\chi/H$  for velocity,  $H^2/\nu$  for time,  $\rho_0\nu\chi/H^2$  for pressure,  $1/T_{cr}$  (in the unstable sublayer) for the coefficient of thermal expansion and  $\delta T = T_h - T_c$  for temperature, where the density inversion parameter  $\tau = d/H = (T_h - T_{cr})/(T_h - T_c)$ ,  $0 <$

thicknesses of the sublayers are characterized by the inversion parameter  $\tau = d/H = (T_h - T_{cr})/(T_h - T_c)$ ,  $0 < \tau < 1$ , which shows the ratio of the height of the unstable sublayer  $d$  to the thickness of the whole layer  $H$ . In the ultimate cases when  $\tau = 1$  and  $0$ , the set of the problem turns to the classical Rayleigh problem with  $\beta = 0.003054$  and  $-0.01583$  respectively [1]. Similar to the case with cold water convection, the analysis of the density profile form (Fig.1) shows that the situation does not change at heating from above [4].

$\tau < 1$  is the ratio of the height of the unstable sublayer  $d$  to the height of the whole layer  $H$ . Here  $Ra = gH^3\delta T/(\chi\nu T_{cr})$  and  $Pr = \nu/\chi$  are the Rayleigh and Prandtl numbers.

In order to solve system (2), we use the Galerkin method provided that  $\tau$  is not too small [1,10] and the orthogonalization method if  $\tau$  is small.

According to the Galerkin method, an approximated solution of (2) is considered as:

$$\begin{aligned} \omega(t, x, y) &= \exp(-\lambda t) \sin(\alpha x) \sum_{m=1}^N \omega_m \sin(m\pi y), \quad \psi(t, x, y) = \exp(-\lambda t) \sin(\alpha x) \sum_{m=1}^N \frac{\omega_m}{S_m} \sin(m\pi y), \\ Q(t, x, y) &= \exp(-\lambda t) \cos(\alpha x) \sum_{m=1}^N Q_m \sin(m\pi y), \quad S_m = \alpha^2 + m^2\pi^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Here  $\lambda$  is the eigenvalue (increment), and  $\alpha$  is a wave number. Negative  $\lambda$  values correspond to instability, while positive ones to the stable flow.

By substituting (3) into (2) and following the standard Galerkin method [1,10], we obtain the condition of non-trivial solution existence in the form of determinant:

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

where  $A$  is a square matrix with the components  $A_{km}$

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

and  $D$  is a diagonal matrix with the components  $d_{mm}$ :

$$d_{mm} = \frac{S_m(S_m - \lambda)(S_m - \lambda Pr)}{2Ra \cdot \alpha^2}, \quad 1 \leq m \leq N.$$

Consider now asymptotic ratios with  $\tau$  close to 1, when the density maximum is achieved at the upper horizontal boundary and the problem considered

asymptotically turns into the classical Rayleigh problem [1].

From (5), one can find  $A_{mk}$ :

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

The equations show that matrix  $A$  at  $\tau$  close to 1 has a diagonal dominance, and the equations for dominant harmonic components can be considered separately. However, it is due to these harmonic components that the flow stability and other characteristics are determined [1,2,10].

Test calculations demonstrate that at  $\tau$  close to 1 the neutral curve and perturbation growth increments can be calculated accurately taking into account only one harmonic component ( $N = 1$ ).

When  $N = 1$ , the neutral curve has the form:

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

Hence, one can obtain the critical value of the Rayleigh number (minimum of  $Ra$  versus  $\alpha$ ):

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

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

For the growth increment  $\lambda$ , we find that

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

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

According to (7), one can see that the increment values obtained differ from those for the classical Rayleigh problem by about  $O(1-\tau)^3$  [1], and decrease in  $\tau$  leads to a more stable flow.

instability domain on the wave plane, with solid curves showing the boundary of the instability domain for Rayleigh problem ( $\tau = 1$ ), and dashed curves showing boundaries at  $\tau = 0.8$  and  $0.85$ . Figures 2 and 3 show flow stabilization as  $\tau$  decreases.

Fig.2 shows the function of the wave number  $\alpha$  as a growth increment  $\lambda$ , with numbers on the curves showing corresponding  $\tau$  values when  $Ra = 10 \cdot Ra_{cr}$ ,  $Ra_{cr} = 657.511$  and  $Pr = 0.71$ . Fig.3 shows the

Consider now asymptotic ratios with  $\tau$  close to 0, when the density maximum is achieved at the lower horizontal boundary.

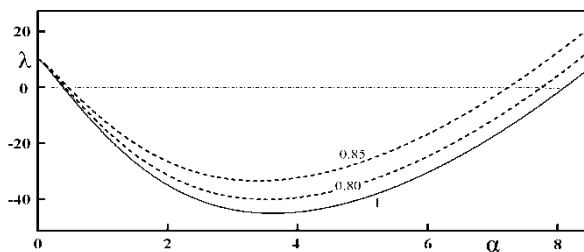


Fig. 2. Growth increment.

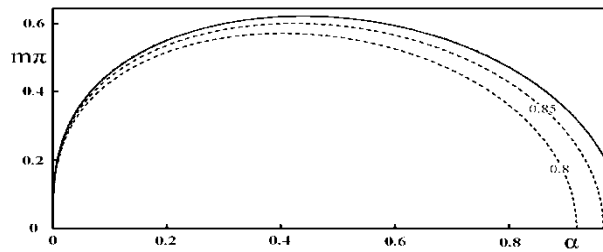


Fig. 3. Instability domain.

One can obtain for  $A_{mk}$

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

These equations show that matrix  $A$  at  $\tau$  close to 0 has a diagonal dominance, and the equations for dominant harmonic components can be considered separately. It follows from the first of the equations

above for the neutral curve (7) that given  $\tau$  close to 0 all the disturbances attenuate.

We can show that attenuating disturbances at  $\tau$  close to 0 are typically oscillatory, which appears if Rayleigh number exceeds the threshold value 3.757 [1].

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

The equation shows that the attenuation rate, which is determined by the real part of the increment  $\lambda$ , does not depend on inversion  $\tau$ , and its growth (or attenuation) leads to a small decrease (increase) in the damped oscillation frequency.

Let us now compare critical Rayleigh numbers and corresponding wave numbers obtained in the present paper for the convection in cold water [3-5] and for the classical Rayleigh problem [1]. Figures 4 and 5 show the scale of length as the height of the unstable

sublayer, and our data were recalculated as  $Ra_{cr}\tau^4$  and  $\alpha_{cr}\tau$ , respectively.

The solid curves in Fig. 4 and 5 show our results (line 1) and the data for convection in cold water ([4] - line 2 and [3] - dots), whereas the dotted line corresponds to the classical Rayleigh problem [1]. The dot-and-dash line in Figure 4 shows the result of the experiment with the convection of cold water poured on ice [5].

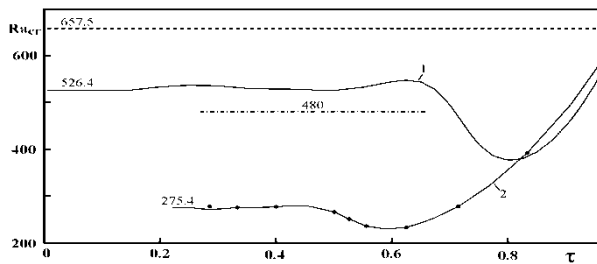


Fig. 4. The critical value of the Rayleigh number.

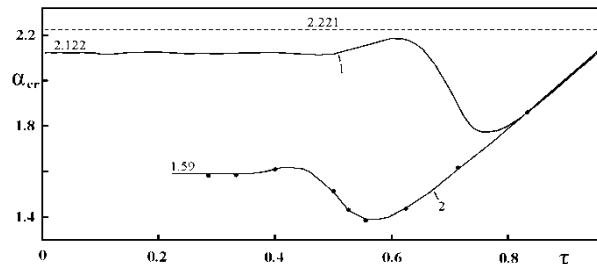


Fig. 5. The critical value of the wave number.

According to the data in Figures 4 and 5, we can see that at  $0.8 < \tau \leq 1$  the results of our work are close to those of convection in cold water, and at  $\tau = 1$  they coincide with the solution of the classical Rayleigh problem, while in the domain of infinitesimal  $\tau$  they asymptotically tend to the constants corresponding to the asymptotes of  $Ra_{cr} = 526.4/\tau^4$  and  $\alpha_{cr} = 2.122/\tau$ .

We should notice that according to the critical Rayleigh number value, the results of experimental studying for convection in cold water [5] are essentially close to our results (with a 9.6% deviation), especially if we compare the former with the theoretical results [3,4], which give a deviation of about 43%. A possible reason for this might be the fact that in both experiment [5] and our work the heat expansion coefficient  $\beta$  was considered constant and equal to its average value on horizontal boundaries. Due to this, our results are also much closer to the results of solving the classical Rayleigh problem with constant  $\beta$  [1] than the theoretical results for convection in cold water [3,4].

#### About explosion safety problem

An explosion safety problem arises when a pipeline or tank using for transportation and storage of hydrocarbons is damaged. The flow in the pipeline can be considered in the coordinate system moving with an average flow velocity, and in this approximation, the flow in the pipeline and in a stationary tank can be considered in the framework of one approach.

In fact, the formation of an explosive mixture requires the mixing of hydrocarbon and air. If the wall of the pipeline or tank is damaged, the evaporation of hydrocarbon leads to its cooling. Moreover, practically any temperature difference leads to the development of convective mixing [1].

The following dependence of the critical temperature  $T_{cr}$  on the mass concentration of cyclohexane  $\beta_0$  can be obtained (Fig. 6). Moreover,  $\beta_0$  monotonically changes from its maximum value 1 to the minimum 0. In Fig. 6 temperature values of cold and hot walls are shown conditionally.

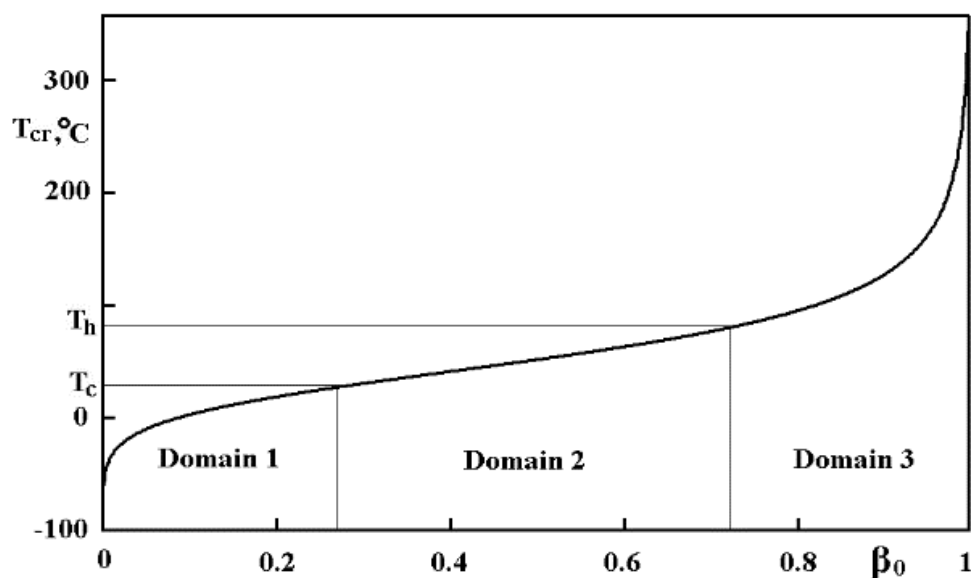


Fig. 6. The critical temperature versus mass concentration.

A few words about a possible scenario for the development of an emergency.

Immediately after damage of the wall, the mass concentration of hydrocarbon is about  $\beta_0 = 1$  and convection is possible if the pipe is damaged from above (Domain 3).

With a further decrease of the mass concentration of hydrocarbon  $\beta_0$ , the critical temperature is into the temperature range of the cold and hot walls  $T_c < T_{cr} < T_h$  and convection develops both when the pipe is damaged above and below (Domain 2).

With a further decrease in  $\beta_0$  (at  $T_{cr} < T_c$ ), convection develops when the pipe is damaged from below (Domain 1).

Note that during the transportation and storage of cyclohexane, the formation of explosive areas is observed when cyclohexane mass concentration falls in the range with approximate boundaries from 0.0334 to 0.186, which corresponds to a critical temperature range from  $-0.16.9^\circ\text{C}$  to  $16.7^\circ\text{C}$ .

### Conclusion

In present work we have described a new physical and mathematical model of Rayleigh-Benard convection in a gas-vapor mixture of oxygen and cyclohexane taking into account cyclohexane evaporation and condensation on the boundaries of the domain. It is shown that at a certain (critical) temperature, when all the added liquid cyclohexane has evaporated, the density of the gas-vapor mixture reaches a local maximum, where the heat expansion coefficient and the buoyancy force in the equation of motion change their sign going through zero.

We conducted linear analysis of stability and analyzed data obtained through calculating nonlinear steady conditions of Rayleigh-Benard convection.

A physically natural supposition about cyclohexane condensation on solid walls and, hence, a more viscous liquid film on the walls allows us to consider the boundaries of the domain horizontal and free from shear strength, which simplified the task.

We showed that the problem of Rayleigh-Benard convection in the gas-vapor mixture considered turns

asymptotically into the classical Rayleigh problem if the density maximum is achieved on one of the horizontal boundaries. In both threshold cases we obtained analytical asymptotic formulae for stability characteristics. In terms of one mode approximation, expressions for the growth increment (or attenuation) of the first major mode were obtained. The boundary of the instability domain was also studied on the wave plane.

At  $\tau$  close to 1, a decrease in the inversion parameter  $\tau$  leads to a growth in the flow stability, and at  $\tau$  close to 0 it leads to a growth in the damped oscillation frequency, but the rate of decay is constant.

Having solved the linear stability problem, we see that a decrease in the relative thickness of the lower, unstable sublayer or a corresponding growth in the relative thickness of the upper stable sublayer cause stabilization of the flow.

We draw a quality analogy between the convection in the gas-vapor mixture considered and the penetrating convection of cold water at close to maximum density point, where the heat expansion coefficient goes through zero but is a linear function of the temperature.

It is shown that the considered problem of convection of a gas-vapor carbon-air mixture is directly related to the problem of explosion safety during the transportation and storage of hydrocarbons.

### References

1. Gershuni G.Z., Zhukhovitskii E.M. Convective Stability of Incompressible Fluids. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations, 1976.-392 p.
2. Palymskiy, I.B. Turbulentnaya konvektziya Rehleya-Benara. Chislennyi metod i rezultaty raschetov [Turbulent Rayleigh-Benard Convection. Numerical Method and Results of Simulation]. Germany: LAP, 2011. -232p. (in Russian).
3. Veronis G. Penetrative convection // Astrophys. J.-1963.- V.137. - P.641-663.
4. Nadolin K.A. O pronikajushhej konvekcii v priblizhenii izotermicheski neszhimajemoj zhidkosti.

[On Penetrative Convection in the Isothermally Incompressible Fluid Approximation] // Izv. RAN, ser.: MZhG [RAS Bulletin, Series Mechanics of Liquid and Gas].-1996. - № 2. - P.40-52 (in Russian).

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. Kuznetsova D.V., Sibgatullin I.N. Perekhodnye rezhimy v pronikajushhej konvekcii v ploskom sloe. [Transitional Regimes of Penetrative Convection in a Plain Layer.] // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo [Bulletin of Lobachevskiy State University of Nizhny Novgorod].- 2011.- № 4(3).- P.907-909 (in Russian).

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.

---

## APPLICATION OF THE THEORY OF OPTIMAL SET PARTITIONING BEFORE BUILDING MULTIPLICATIVELY WEIGHTED VORONOI DIAGRAM WITH FUZZY PARAMETERS

---

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.615](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.615)

*Kiseleva E.M.,*

*Prytomanova O.M.,*

*Padalko V.H.*

*Oles Honchar Dnipro National University*

### ABSTARCT

An algorithm for constructing a multiplicatively weighted Voronoi diagram involving fuzzy parameters with the optimal location of a finite number of generator points in a limited set of  $n$ -dimensional Euclidean space  $E_n$  has been suggested in the paper. The algorithm has been developed based on the synthesis of methods of solving the problems of optimal set partitioning theory involving neurofuzzy technologies modifications of N.Z. Shor  $r$ -algorithm for solving nonsmooth optimization problems.

**Keywords:** multiplicatively weighted Voronoi diagram, optimal set partitioning problem, optimal location of generator points, neurofuzzy technologies, N.Z. Shor  $r$ -algorithm, nonsmooth optimization problems.

**Introduction.** Currently, hundreds of literary sources on Voronoi diagrams and their application in various fields [1]. Voronoi diagrams for two- and three-dimensional spaces are used in many different areas of applied sciences. Quite apart from the fact that a large amount of known algorithms for constructing Voronoi diagrams of given finite  $M$ sets of a plane (space) points, called generator points, have  $O(|M| \log(|M|))$  complexity, all these algorithms are quite complicated. In addition, in practical problems the parameters of the Voronoi diagrams often may be fuzzy.

In the papers [2, 3], the algorithms for constructing a standard (classical) Voronoi diagram with deterministic parameters and various generalizations are suggested, based on the application of methods of optimal set partition (OSP) theory and having several advantages over the known ones, which are described in the scientific literature [1, 4, 5]. Particularly, they do not depend on the  $E_n$  space dimension containing a limited set to be partitioned, which is independent of the geometry of the sets to be partitioned; the complexity of algorithms for plotting Voronoi diagrams based on the approach described above does not increase with the growing number of generator points; they can be used to construct not only Voronoi diagrams of a given number of generator points of fixed locations, but also with the optimal location of these

points in a limited amount of  $E_n$  space, and other advantages. The result of such a versatile approach is the ability to easily construct not only already known Voronoi diagrams but also the new ones.

The versatility of the approach proposed in studies [2, 3] in the construction of Voronoi diagrams is further supported by the fact that models and methods for solving continuous problems of optimal set partitioning can be generalized in the case of fuzzy initial parameters of the problem or a requirement of a fuzzy set partitioning, resulting in a fuzzy nature of Voronoi diagrams.

In this paper, there has been developed the algorithm of constructing a multiplicatively weighted Voronoi diagram involving fuzzy parameters with optimal positioning of  $N$  finite number of generator points in  $\Omega$  limited set in  $n$ -dimensional  $E_n (n \geq 2)$  Euclidean space. The algorithm has been developed based on the synthesis of methods of solving problems of the theory of OSP [7]) with neuro-fuzzy technologies [8]) and modifications of N.Z. Shor  $r$ -algorithm for solving non-smooth optimization problems [9, 10].

**Problem setting.** A classical Voronoi diagram of a finite set  $M = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N\} \subset E_n$  of generator points  $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \tau_i^{(2)}, \dots, \tau_i^{(n)})$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  in  $n$ -dimensional Euclidean space  $E_n (n \geq 2)$  is Voronoi polyhedra set

$$Vor(\tau_i) = \{x \in E_n: c(x, \tau_i) \leq c(x, \tau_j), j = 1, 2, \dots, N, j \neq i\}, i = 1, 2, \dots, N,$$

of seed points  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ , where  $c_i(x, \tau_i)$  are functions of the distance between  $x$  and  $\tau_i$  points which are defined in  $E_n$  as a Euclidean metric.

In a multiplicatively weighted Voronoi diagram of the set  $M = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N\} \subset E_n$

$$MW Vor(M) = \bigcup_{\tau_i \in M} MW Vor(\tau_i)$$

each Voronoi polyhedron

$$MW Vor(\tau_i) = \{x \in E_n: c(x, \tau_i)/w_i \leq c(x, \tau_j)/w_j, j = 1, 2, \dots, N, j \neq i\}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

represents a set of space, the weighted distance from which to the generator point  $\tau_i \in M$  does not exceed the weighted distance to any other seed point ( $w_i > 0, i = 1, 2, \dots, N$ , are given weight coefficients).

distance to it, one needs to multiply the function that sets the distance by that weight coefficient.

Growing crystals is one of the illustrative ways of obtaining a multiplicatively weighted Voronoi diagram [6]. When all crystals begin to grow at the same time but at different speeds, each  $\tau_i \in M$  point gets a weight coefficient, and when measuring the

Voronoi diagrams with fuzzy parameters appear, for example, when the weight coefficients of the two-point distance functions that determine the elements of the Voronoi diagram are fuzzy. Let us set for each  $c_i(x, \tau_i)$  function of (1) a fuzzy weight  $\tilde{w}_i$ , which depends on external factors, which may also be fuzzy, and at the same time the type of this dependency is unknown in advance.

Then (1) shall be put down as follows

$$MW Vor(\tau_i) = \{x \in E_n: c(x, \tau_i)/\tilde{w}_i \leq c(x, \tau_j)/\tilde{w}_j, j = 1, 2, \dots, N, j \neq i\}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

For a mathematical formulation of a problem of constructing a multiplicatively weighted Voronoi diagram with an optimal positioning of a finite number  $N$  of generator points in  $\Omega$  limited set of  $n$  - dimensional Euclidean space  $E_n$  ( $n \geq 2$ ) on the basis of methods for solving OSP problems, let us eliminate the fuzziness in (2) by the neurolinguistic identification method of unknown complex nonlinear relationship of [8].

dependency of the identification object output  $w$  from its inputs  $y_1, \dots, y_q$  as follows:

$$w = w(y_1, \dots, y_q), \quad (3)$$

where  $y_1, \dots, y_q$  are the factors affecting  $w$ , and, as noted earlier, may also be fuzzy.

To apply the specified method in recovering values of fuzzy parameters  $\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_N$ , without limiting the generalization of considerations, let us denote their restored values as  $w$  and consider the functional

Having applied the method of neurolinguistic identification of unknown complex nonlinear relations developed in [8], we obtain the deterministic (clear) value of the original variable  $w$ , which is calculated by the following formulas:

$$w = \frac{\sum_{k=1}^L d_k \cdot \mu^*_{D_k}(w)}{\sum_{k=1}^L \mu^*_{D_k}(w)}, \quad (4)$$

$$\mu^*_{D_k}(w) = \begin{cases} \sum_{j=1}^{s_k} p^*_{j,k}(y_1, y_2, \dots, y_q), & \text{if } \sum_{j=1}^{s_k} p^*_{j,k}(y_1, y_2, \dots, y_q) \leq 1, \\ 1 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (5)$$

$$p^*_{j,k}(y_1, y_2, \dots, y_q) = v^*_{j,k} \prod_{i=1}^q \mu^*_{i,j,k}(y_i), \quad (6)$$

$$\mu^*_{i,j,k}(y_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{y_i - b^*_{i,j,k}}{e^*_{i,j,k}}\right)^2}, i = 1, \dots, q, j = 1, \dots, s_k, k = 1, 2, \dots, L, \quad (7)$$

where in formulas (4) - (7):

-  $\mu^*_{D_k}(w)$  is the membership function of the original variable  $w$  of  $D_k$  class,  $k = 1, 2, \dots, L$ ,  $L$  is the

number of classes (linguistic terms) of the original variable  $w$ ,  $d_k$  is the centre of the class  $D_k$ ;

-  $p_j^k(y_1, y_2, \dots, y_q)$  are fuzzy production rules derived from expert and experimental information on dependency (6),  $j$  is the rule number in  $k$ -class,  $j = 1, 2, \dots, s_k$ ,  $s_k$  - means the amount of rules in  $k$ -class;  $v_j^k$  - weight of  $j$ -rule in  $k$ -class of output  $w$ ;

-  $\mu_{ij}^k(y_i)$  is the bell-shaped function of  $y_i$  variable membership in its linguistic term in  $j$ -rule of  $k$ -class of the output variable  $w$ ,  $b_{ij}^k$  is the coordinate of the maximum and  $e_{ij}^k$  is the concentration coefficient of this membership function.

It should be noted that the value  $v_j^k$  - of the weights of the rules in (6) and the parameters  $t_{ij}^k$ ,  $e_{ij}^k$  of the membership function (7) are marked by an asterisk as optimal ones, that is, the values obtained as a result of the parametric identification of the method of neurolinguistic identification, for which the deviation of the experimental data from the artificial data obtained after adjusting the fuzzy model of the object (3) reaches its minimum. Values of  $\mu_{D_k}^k(w)$ ,  $p_j^k(y_1, y_2, \dots, y_q)$  and  $\mu_{ij}^k(y_i)$  in (4) - (7) are calculated at optimal values of  $v_j^k$ ,  $b_{ij}^k$ ,  $e_{ij}^k$ .

$$MW Vor(\tau_i) = \{x \in E_n: c(x, \tau_i)/w_i \leq c(x, \tau_j)/w_j, j = 1, 2, \dots, N, j \neq i\}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (8)$$

of  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$  points optimally placed in a finite set, for which the total weighted distance from the

Thus, after restoring fuzzy parameter values  $\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_N$  in (2) using the described method of neurolinguistic identification, we obtain their recovered (crisp) values of  $w_1, \dots, w_N$ .

We now formulate the mathematical setting of a problem of constructing a multiplicatively weighted Voronoi diagram with the optimal placement of a finite number of  $N$  generator points in  $\Omega$  limited set of  $n$ -dimensional Euclidean space  $E_n$  ( $n \geq 2$ ) on the basis of methods of solving OSP problems and restored values of its fuzzy parameters.

Let us assume that  $\Omega$  is a given bounded set of  $E_n$ ,  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$  is a finite set of generator points in  $\Omega$ . In cases where the location of points  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$  in  $\Omega$  is unknown and these must be placed (selected) in  $\Omega$ , another Voronoi diagram can be introduced on a set  $\Omega \subset E_n$ , that is, the Voronoi diagram of points optimally located in a finite set.

We will consider the following total of Voronoi polyhedra as a multiplicatively weighted Voronoi diagram of a finite number  $N$  of generator points  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$  in  $\Omega \subset E_n$  limited set

points of  $\Omega$  set to the corresponding  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$  generator points is the smallest, that is, the functional

$$J(\{\tau_1, \dots, \tau_N\}) = \sum_{i=1}^N \int_{Vor(\tau_i)} (c(x, \tau_i)/w_i) dx \quad (9)$$

takes on the minimum value.

**The method of solving the problem.** Let's develop an approach to constructing a multiplicatively weighted Voronoi diagram of a finite number of generator points  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ , optimally placed in  $\Omega \subset E_n$  finite set, with fuzzy parameters, based on the application of the mathematical apparatus of neurofuzzy technologies [8] and the OSP theory [7]. To do this, we must first formulate the corresponding continuous problem of optimal partitioning of the set of

$E_n$  to subsets with unknown coordinates of some points characteristic of each subset, which are called the centres of subsets, being a generalization of the problem of [7].

Let  $\Omega$  be a bounded Lebesgue set in  $n$ -dimensional Euclidean space  $E_n$ . Let a total of Lebesgue measurable subsets  $\Omega_1, \dots, \Omega_N$  of  $\Omega \subset E_n$  be called the possible division of the  $\Omega$  set into its non-intersecting subsets  $\Omega_1, \dots, \Omega_N$  if

$$\bigcup_{i=1}^N \Omega_i = \Omega, mes(\Omega_i \cap \Omega_j) = 0, i, j = 1, 2, \dots, N (i \neq j), \quad (10)$$

where  $mes(\cdot)$  means Lebesgue measure.

Let  $\Sigma_\Omega^N$  denote the class of all possible partitions of  $\Omega$  set into non-intersecting subsets,  $\Omega_1, \dots, \Omega_N$  that is

$$\Sigma_\Omega^N = \{(\Omega_1, \dots, \Omega_N): \bigcup_{i=1}^N \Omega_i = \Omega, mes(\Omega_i \cap \Omega_j) = 0, i, j = 1, 2, \dots, N (i \neq j)\}.$$

Let's introduce the functional

$$F(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \{\tau_1, \dots, \tau_N\}) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} (c(x, \tau_i)/w_i) dx, \quad (11)$$

where  $c(x, \tau_i)$  is a given real-valued limited  $\Omega \times \Omega$  function measured by  $x = (x^{(1)}, \dots, x^{(n)}) \in \Omega$  for any fixed point  $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \dots, \tau_i^{(n)}) \in \Omega$  for all  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $w_i > 0$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) are given weight coefficients.

Here, integrals are thought of as being Lebesgue. We assume that a measure of a set of the limiting points of the set  $\Omega_i$ ,  $i = 1, \dots, N$  is zero.

**Problem A.** Find

$$\min_{\substack{\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\} \in \Sigma_\Omega^N, \\ \{\tau_1, \dots, \tau_N\} \in \Omega^N}} F(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \{\tau_1, \dots, \tau_N\}),$$

where functional  $F(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \{\tau_1, \dots, \tau_N\})$  is represented in the form of (11); the  $\tau_i^{(1)}, \dots, \tau_i^{(n)}$  coordinates of centres of  $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \dots, \tau_i^{(n)}) \in \Omega_i$ ,  $i =$

1, 2, ..., N, are unknown in advance and need to be identified.

The  $(\{\Omega_1^*, \dots, \Omega_N^*\}, \{\tau_1^*, \dots, \tau_N^*\})$  pair which represents the minimum of functional (11) on  $\Sigma_\Omega^N \times \Omega^N$  set may be called an *optimal solution* of the Problem A. In this case, let us call  $\{\Omega_1^*, \dots, \Omega_N^*\} \in \Sigma_\Omega^N$  partition an *optimal partitioning* of  $\Omega \subset E_n$  set into N subsets, and  $\tau^* = (\tau_1^*, \dots, \tau_N^*) \in \Omega^N$  total of  $\tau_i^* \in \Omega_i^*, i = 1, 2, \dots, N$  centres - the *optimal centres* of  $\Omega_i^*$  subsets in problem A.

**Problem B.** Find

$$\min_{(\lambda(\cdot), \tau) \in \Gamma \times \Omega^N} \int_{\Omega} \sum_{i=1}^N (c(x, \tau_i) / w_i) \lambda_i(x) dx,$$

where

$$\Gamma = \{ \lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x)) : \sum_{i=1}^N \lambda_i(x) = 1 \text{ almost everywhere (a.e.) for } x \in \Omega$$

$$\lambda_i(x) = 0 \vee 1 \text{ a.e. for } x \in \Omega \ i = 1, \dots, N \}; \tau = \tau_1, \dots, \tau_N \in \underbrace{\Omega \times \dots \times \Omega}_N = \Omega^N$$

For Problem B, in [7], we prove the following theorem 1, which establishes the optimal solution  $(\lambda_*(\cdot), \tau_*)$ .

**Theorem 1.** Components of a characteristic vector function  $\lambda_*(x) = (\lambda_{*1}(x), \dots, \lambda_{*i}(x), \dots, \lambda_{*N}(x))$  that matches the

To solve the Problem A for each fixed  $w_i (i = 1, 2, \dots, N)$  we introduce the characteristic functions of subsets  $\Omega_i$ :

$$\lambda_i(x) = \begin{cases} 1, & x \in \Omega_i, \\ 0, & x \in \Omega \setminus \Omega_i, \end{cases} \quad i = 1, \dots, N,$$

and restate the Problem A in terms of characteristic functions as follows.

optimal solution  $(\Omega_{*1}, \dots, \Omega_{*i}, \dots, \Omega_{*N})$  of the Problem A for  $i = 1, \dots, N$  and almost all  $x \in \Omega$  are as follows:

$$\lambda_{*i}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } c(x, \tau_{*i}) / w_i \leq c(x, \tau_{*j}) / w_j, \\ & i \neq j \text{ a.e. for } x \in \Omega, j = 1, \dots, N, \text{ then } x \in \Omega_{*i}, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

the optimal solution to the problem, which is dual to problem B, is chosen as  $\tau_{*1}, \dots, \tau_{*N}$ :

$$G(\tau) = \int_{\Omega} \min_{i=1, \dots, N} [c(x, \tau_i) / w_i] dx \rightarrow \min, \tau \in \Omega^N.$$

We now present Theorem 2, based on the results of [7, 11] papers, which summarizes our considerations and will be further used in the formulation of the algorithm for solving Problem A.

**Theorem 2.** Components of a characteristic vector function  $\lambda_*(x) = (\lambda_{*1}(x), \dots, \lambda_{*i}(x), \dots, \lambda_{*N}(x))$  that

matches the optimal solution  $(\Omega_{*1}, \dots, \Omega_{*i}, \dots, \Omega_{*N})$  of the Problem A for  $i = 1, \dots, N$  and almost all  $x \in \Omega$  are as follows:

$$\lambda_{*i}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } c(x, \tau_{*i}) / w_i \leq c(x, \tau_{*j}) / w_j, \\ & i \neq j \text{ a.e. for } x \in \Omega, j = 1, \dots, N, \text{ then } x \in \Omega_{*i}, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (12)$$

the optimal solution of the problem is chosen as  $\tau_{*1}, \dots, \tau_{*N}$

$$G(\tau) = \int_{\Omega} \min_{i=1, \dots, N} [c(x, \tau_i) / w_i] dx \rightarrow \min, \tau \in \Omega^N. \quad (13)$$

Here, each parameter  $w_i, i = 1, \dots, N$  previously specified as the output  $w$  that depends on  $y_1, \dots, y_q$  inputs as  $w = w(y_1, \dots, y_q)$ , is calculated by

formulas (4) - (7).

**Problem A solution algorithm.** To describe the algorithm, we define  $i$ -component,  $i = 1, \dots, N$ , being

the component of the generalized gradient vector of  $g_G^{\tau}(x) = (g_G^{\tau_1}(x), \dots, g_G^{\tau_i}(x), \dots, g_G^{\tau_N}(x))$  functions (13) at  $\tau$  point as follows:

$$g_G^{\tau_i}(x) = \int_{\Omega} g_c^{\tau_i}(x; \tau) \lambda_i(x) dx, \quad i = 1, \dots, N, \tag{14}$$

where  $g_c^{\tau_i}(x, \tau)$  -  $i$ -component of  $N$ -dimensional vector of generalized gradient  $g_c^{\tau}(x, \tau)$  of  $c(x, \tau_i)$  In the formula (14)  $\lambda_i(x)$ ,  $i = 1, \dots, N$ , is defined as follows:

$$\lambda_i(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } c(x, \tau_i) / w_i \leq c(x, \tau_j) / w_j, \\ & \text{in other cases,} \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad \forall j = 1, \dots, N, \text{ then } x \in \Omega_i, \tag{15}$$

where  $w_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ , are calculated by formulas (4) - (7).

**Algorithm.** We place  $\Omega$  domain to  $n$ -dimensional parallelepiped  $P$ , the sides of which are parallel to the axes of the Cartesian coordinate system. We cover the parallelepiped  $P$  with a rectangular grid and set the initial approximation  $\tau = \tau^{(0)}$ . We calculate  $\lambda^{(0)}(x)$

value at the nodes of the grid according to formulas (12), taking into account (4) - (7) formulas for calculating the parameters  $w_i$ , at  $\tau = \tau^{(0)}$ ;  $g_G(\tau)$  value - by the formula (14) at  $\lambda(x) = \lambda^{(0)}(x)$ ,  $\tau = \tau^{(0)}$ ; select the initial test step of  $r$ -algorithm  $h_0 > 0$  and find

$$\tau^1 = P_{\Pi} \left( \tau^0 - h_0 \frac{H_1 g_G(\tau^0)}{\sqrt{(H_1 g_G(\tau^0), g_G(\tau^0))}} \right),$$

$P_{\Pi}$  is a projection operator on  $\Pi$ .

Proceed to the second step.

Let the result of calculations after

$k$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) steps of the algorithm be the obtained values of  $\tau^{(k)}$ ,  $\lambda^{(k-1)}(x)$  in the nodes of the grid.

Let us describe  $(k+1)$  step.

1. We calculate  $\lambda^{(k)}(x)$  value at the nodes of

the grid according to formulas (15), taking into account (4) - (7) formulas to calculate the parameters of  $w_i$ , at  $\tau = \tau^{(k)}$ .

2. We find  $g_G(\tau)$  value by formulas (14) at  $\lambda(x) = \lambda^{(k)}(x)$ ,  $\tau = \tau^{(k)}$ .

3. We then take  $(k+1)$  step of  $r$ -algorithm in  $N$ -form, an iterative formula of which is as follows

$$\tau^{k+1} = P_{\Pi} \left( \tau^k - h_k \frac{H_{k+1} g_G(\tau^k)}{\sqrt{(H_{k+1} g_G(\tau^k), g_G(\tau^k))}} \right),$$

4. If the condition  $\|\tau^k - \tau^{k+1}\| \leq \varepsilon$ ,  $\varepsilon > 0$ ,

(16) is not met, we go to  $(k+2)$  step of the algorithm, otherwise - to cl. 5.

5. Let  $\lambda_*(x) = \lambda^{(l)}(x)$ ,  $\tau_* = \tau^{(l)}$ , where  $l$  is the iteration number at which condition (16) is satisfied.

6. We calculate the optimal value of the objective function  $G(\tau)$  of (13) by the formula

$$G(\tau) = \int_{\Omega} \min_{i=1, \dots, N} [c(x, \tau_i) / w_i] dx,$$

at  $\tau = \tau_*$  and  $w_i$ ,  $i = 1, \dots, N$  calculated by formulas (14) - (17).

**The described algorithm.**

Thus, as a result of the solution of Problem A by the algorithm described above, which is based on theorem 2 above, we obtain a total of Voronoi polyhedra (3) of generator points  $\tau_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ :

$$Vor(\tau_i) = \{x \in \Omega \subset E_n : c(x, \tau_i) / w_i \leq c(x, \tau_j) / w_j, \quad i \neq j, \quad j = 1, \dots, N\}$$

but unlike the standard Voronoi diagram (1), where points  $\tau_1, \dots, \tau_N$  are fixed and parameters  $w_i$ ,  $i = 1, \dots, N$  are clear, in order to find the coordinates of the generator points  $\tau_1, \dots, \tau_N$ , optimally

located in  $\Omega \subset E_n$ , we need to solve a finite-dimensional optimization problem

$$G(\tau) = \int_{\Omega} \min_{i=1, \dots, N} [c(x, \tau_i) / w_i] dx \rightarrow \min, \tau \in \Omega^N = \underbrace{\Omega \times \dots \times \Omega}_N$$

with a non-differentiated objective function  $G(\tau)$  and  $w_i$ ,  $i = 1, \dots, N$  parameters recovered using the neurolinguistic identification method of unknown complex nonlinear relationship.

**Summary.** The method and algorithm has been suggested for constructing a multiplicatively weighted Voronoi diagram involving fuzzy parameters with optimal location of a finite number of generator points in a limited set of  $n$ -dimensional Euclidean space  $E_n$ . The method is based on the formulation of an appropriate continuous problem of optimal set partitioning into non-intersecting subsets, where the centers of these subsets are located involving fuzzy parameters in the objective functional and with the criterion of the partition quality, which provides an appropriate Voronoi diagram with fuzzy parameters. The method of solving the above problem of optimal set partitioning is based on the application of the mathematical apparatus developed in [11], while the method of neurolinguistic identification, developed in [8], was used to eliminate the fuzziness in the OSP problem.

### Bibliographic References

1. Preparata F., Sheimos M. Computational geometry: an introduction. Springer. First Edition edition, 1993. 390 p.
2. Kiseleva E.M., Koriashkina L.S. Theory of continuous optimal set partitioning problems as a universal mathematical formalism for constructing Voronoi diagrams and their generalizations I. Theoretical foundations // Cybernetics and Systems Analysis, vol. 51, № 3, pp. 325-335 (2015). DOI 10.1007/s10559-015-9725-x.
3. Kiseleva E.M., Koriashkina L.S. Theory of continuous optimal set partitioning problems as a universal mathematical formalism for constructing voronoi diagrams and their generalizations. II. Algorithms for constructing Voronoi diagrams based on the theory of optimal set partitioning // Cybernetics and Systems Analysis, vol. 51, № 4, pp. 489-499 (2015). DOI: 10.1007/s10559-015-9740-y.
4. Aurenhammer F., Klein R., Lee D.-T. Voronoi Diagrams and Delaunay Triangulations. World Scientific Pub Co Inc, 2013. 337 p.
5. Okabe A., Boots B, Sugihara K., Chiu S.N. Spatial Tesselations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams // West Sussex, England: John Wiley and Sons Ltd, second ed., 2000. 696 p.
6. Trubin Stanislav I. Information Space Mapping with Adaptive Multiplicatively Weighted Voronoi Diagrams // Thesis (M.S.) – Origen State University. – 2007.
7. Kiseleva E.M., Shor N.Z. Continuous problems of optimal set partitioning: theory, algorithms, applications. Kyiv: Naukova Dumka, 564 p. (2005) [in Russian].
8. Kiseleva E.M., Pritomanova O.M., Zhuravel S.V. Algorithm for Solving a Continuous Problem of Optimal Partitioning with Neurolinguistic Identification of Functions in Target Functional // Journal of Automation and Information Science, vol. 50, № 3, pp. 1-20 (2018). DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v50.i3.10.
9. Shor, N.Z. Nondifferentiable optimization and polynomial problems. Boston; Dordrecht; London: Kluwer Acad. Publ., 412 p. (1998)
10. Stetsyuk P.I. Shor's r-Algorithms: Theory and Practice. In: Optimization Methods and Applications: In Honor of the 80th Birthday of Ivan V. Sergienko. Ed. by Butenko S., Pardalos P.M, Shylo V. Springer. 2017. P. 495–520.
11. Kiseleva E., Hart L., Pritomanova O., Kuzenkov O. An Algorithm to Construct Generalized Voronoi Diagrams with Fuzzy Parameters Based on the Theory of Optimal Partitioning and Neuro-Fuzzy Technologies. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2386/paper12.pdf>.

УДК 519.622.1  
ГРНТИ 27.41.1

---

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ОБЫКНОВЕННОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ С ПАРАМЕТРОМ ПРИ ПРОИЗВОДНОЙ

---

*Абрамова Вера Викторовна*

*Канд. ф.-м. наук,*

*доцент кафедры автоматизации и управления,*

*Набережночелнинский институт (филиал*

*Казанского (Приволжского) федерального университета,*

*Набережные Челны,*

### АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена методу коллокации решения обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с параметром при производной, Основой исследований являются: общая теория приближённых методов анализа и конструктивная теория функций.

### ABSTRACT

This paper is devoted to the method of collocation of the solution of first-order ordinary differential equations with the parameter for the derivative. The basis of the research is the general theory of approximate analysis methods and the constructive theory of functions.

**Ключевые слова:** дифференциальное уравнение, метод коллокации, обратный оператор, сходимость, скорость сходимости, оценка погрешности.

**Keywords:** differential equation, method of collocation, inverse operator, convergence, rate of convergence, estimation of error.

Рассмотрим однозначно разрешимую задачу Коши для линейного дифференциального уравнения первого порядка

$$\varepsilon x'(t) + a(t)x(t) = y(t) \quad (1)$$

$$x(0) = 0, \quad (2)$$

где  $0 \leq t \leq 1$ ;  $\varepsilon$  — вещественный положительный (в том числе малый) параметр;  $a(t), y(t)$  — заданные функции,  $x(t)$  — искомая функция.

Для решения данной задачи применим метод коллокации. Приближённое решение будем искать в виде полинома

$$x_n(t) = \sum_{k=1}^n \alpha_k t^k, \quad (3)$$

где  $\alpha_k$  — неизвестные коэффициенты, определяемые из условий

$$\varepsilon x'_n(t_i) + a(t_i)x_n(t_i) = y(t_i), i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

$t_i \in [0, 1]$  — узлы коллокации. Подставляя (3) в (4), получим систему линейных алгебраических уравнений для коэффициентов  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ :

$$\sum_{k=1}^n \alpha_k t_i^{k-1} [\varepsilon k + a(t_i)t_i] = y(t_i), i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

**Теорема 1.** Пусть выполняются условия

1. функции  $a(t), y(t) \in H^\alpha (0 < \alpha \leq 1)$ ;
2. задача (1) – (2) имеет единственное решение  $x^*(t)$  при  $\forall y(t) \in C[0, 1]$ ;
3. узлы коллокации являются узлами Чебышёва первого или второго рода:

$$t_i = \cos^2 \frac{2i-1}{4n} \pi, t_i = \cos^2 \frac{i\pi}{2n+2}, i = \overline{1, n}.$$

Тогда система (5) имеет единственное решение  $\alpha_1^*, \alpha_2^*, \dots, \alpha_n^*$  и приближённые решения

$$x_n^*(t) = \sum_{k=1}^n \alpha_k^* t^k$$

сходятся к точному решению  $x^*(t)$  задачи (1) – (2) в пространстве функций класса  $C^{(1)}[0, 1]$ , удовлетворяющих условию (2), со скоростью

$$\max_{0 \leq t \leq 1} |x^* - x_n^*| \leq K_1(\varepsilon) \frac{\ln n}{n^\alpha} = O\left(\frac{\ln n}{n^\alpha}\right), \quad (6)$$

где  $K_1(\varepsilon)$  — положительная постоянная, не зависящая от  $n$ , но, вообще говоря, зависящая от  $\varepsilon$ .

**Доказательство.** Пусть

$$X = \overset{\circ}{C}^{(1)}[0, 1] = \{x(t) : x(t) \in C^{(1)}[0, 1], x(0) = 0\},$$

$$\|x\|_X = \max_{0 \leq t \leq 1} |x'(t)|, \forall x \in X; Y = C[0, 1], \|y\|_Y = \max_{0 \leq t \leq 1} |y(t)|, \forall y \in Y.$$

Задача (1) – (2) эквивалентна операторному уравнению

$$Ax = y (x \in X, y \in Y), Ax = \varepsilon x' + ax, \quad (7)$$

где  $A$  — линейный оператор из  $X$  в  $Y$ . Введём  $n$ -мерные подпространства:  $X_n$  — подпространство полиномов вида  $\sum_{k=1}^n \alpha_k t^k (X_n \subset X)$ ,  $Y_n$  — подпространство полиномов вида  $\sum_{k=1}^n \beta_k t^{k-1} (Y_n \subset Y)$ . Определим оператор  $P_n$ , переводящий  $Y$  в  $Y_n$  соотношением  $P_n y = \sum_{i=1}^n y(t_i) \ell_i(t)$ , где

$$\ell_i(t) = \frac{\omega_n(t)}{(t - t_i)\omega'(t_i)}, \omega_n(t) = (t - t_1)(t - t_2) \dots (t - t_n).$$

Известно, что  $P_n$  является однородным, аддитивным, проекционным оператором. Тогда система (5) эквивалентна функциональному уравнению

$$A_n x_n \equiv P_n A x_n = y_n (x_n \in X_n, y_n = P_n y \in Y_n), A_n x_n = \varepsilon x_{n'} + P_n(ax_n). \quad (8)$$

Для  $\forall x_n \in X_n$  находим

$$\|A x_n - A_n x_n\|_Y = \|A x_n - A_n x_n\|_C = \|a x_n - P_n(ax_n)\|_C \leq 2 \|P_n\|_{C \rightarrow C} E_{n-1}(ax_n)_C.$$

Так как  $t_i$  — узлы Чебышёва первого или второго рода, то (см.[2])

$$\|P_n\|_{C \rightarrow C} \leq \frac{4}{\pi} + \frac{2}{\pi} \ln\left(\frac{2n}{\pi}\right).$$

Следуя [2], [3], получим

$$E_{n-1}(ax_n)_C \leq 3\omega(ax_n; 1/n)_C < 3[\omega(a; 1/n)_C \|x_n\|_C + \|a\|_C \omega(x_n; 1/n)_C],$$

где  $\omega(\varphi; \delta)_C$  — модуль непрерывности функции  $\varphi$ .

Представляя  $x_n(t)$  в виде интеграла  $x_n(t) = \int_0^t x_{n'}(\tau) d\tau$ , получим оценку

$$|x_n(t)| \leq \int_0^t |x_{n'}(\tau)| d\tau \leq \max_{0 \leq t \leq 1} |x_{n'}(t)| t \leq \|x_n\|_X,$$

т.е.  $\|x_n\|_C \leq \|x_n\|_X$ .

Для  $\omega(x_n; 1/n)_C$  имеем

$$\begin{aligned} \omega(x_n; \frac{1}{n})_C &= \sup_{\substack{|t'-t''| \leq \frac{1}{n} \\ t', t'' \in [0,1]}} |x_n(t') - x_n(t'')| = \sup_{\substack{|t'-t''| \leq \frac{1}{n} \\ t', t'' \in [0,1]}} |x_{n'}(\tau)(t' - t'')| \leq \\ &\leq \frac{\max_{0 \leq t \leq 1} |x_{n'}(t)|}{n} = \frac{\|x_n\|_X}{n}, t' < \tau < t''. \end{aligned}$$

Известно (см., напр., [2], [3]), что для  $a(t) \in H^\alpha$  ( $0 < \alpha \leq 1$ )

$$\omega(a; \frac{1}{n})_C \leq \frac{M}{n^\alpha}.$$

Поэтому

$$\begin{aligned} \|A x_n - A_n x_n\|_Y &\leq 2\left[\frac{4}{\pi} + \frac{2}{\pi} \ln\left(\frac{2n}{\pi}\right)\right] \times \\ &\times 3\left[\frac{M}{n^\alpha} \|x\|_C + \frac{1}{n} \|a\|_C \|x\|_X\right] \equiv \varepsilon_n \|x\|_X, \end{aligned}$$

где

$$\varepsilon_n = 6\left[\frac{4}{\pi} + \frac{2}{\pi} \ln\left(\frac{2n}{\pi}\right)\right] \times \left[\frac{M}{n^\alpha} + \frac{1}{n} \|a\|_C\right] = O\left(\frac{\ln n}{n^\alpha}\right) \rightarrow 0,$$

при  $n \rightarrow \infty$ , или

$$\varepsilon_n \equiv \|A - A_n\|_{X_n \rightarrow Y} \rightarrow 0 \quad (9)$$

при  $n \rightarrow \infty$ .

Поскольку в условии теоремы оператор  $A$  — линейно обратим, то в силу соотношения (9) и способу введения подпространств  $X_n, Y_n$  ( $\dim X_n = \dim Y_n = n < \infty$ ) можем сделать вывод (см.[1, с.19], теорема 7):

при всех  $n$ , удовлетворяющих неравенству  $q_n = \varepsilon_n \|A^{-1}\| < 1$  приближённое уравнение (8) имеет единственное решение  $x_n^* \in X_n$  при любой правой части  $y_n \in Y_n$ , кроме того

$$\delta_n \equiv \|y - y_n\|_Y = \|y - P_n y\|_Y \leq 2 \|P_n\|_{C \rightarrow C} E_{n-1}(y)_C = O\left(\frac{\ln n}{n^\alpha}\right) \rightarrow 0$$

при  $n \rightarrow \infty$ .

Поэтому (см. [1]) приближённые решения  $x_n^* \in X_n$  сходятся к точному решению  $x^* \in X$  по норме пространства  $X$  со скоростью

$$\|x_n^* - x^*\|_X = O(\varepsilon_n + \delta_n) = O\left(\frac{\ln n}{n^\alpha}\right).$$

Пусть задана погрешность вычислений  $\delta$ , т.е.  $\|x_n^* - x^*\|_X \leq \delta$ . Тогда

$$c \frac{\ln n}{n^\alpha} \leq \delta,$$

где  $c = \text{const}$ , и можно найти  $n_0$ , при котором достигается заданная точность:

$$\frac{1}{n^\alpha} \leq \frac{\ln n}{n^\alpha} \leq \frac{\delta}{c}.$$

Отсюда  $n^\alpha \geq c/\delta$  или  $n \geq (c/\delta)^{1/\alpha}$ . Следовательно  $n_0 = E[(c/\delta)^{1/\alpha} + 1]$ , где  $E[\varphi]$  — целая часть  $\varphi$ .

**Следствие.** В условиях теоремы 1 приближённые операторы  $A_n^{-1}$  существуют и ограничены по норме в совокупности

$$\|A^{-1}\|_{Y_n \rightarrow X_n} = O(1) \leq \bar{K}_1(\varepsilon)$$

для  $n > n_0$ , где  $\bar{K}_1$  — положительная постоянная, не зависящая от  $n$ , но, вообще говоря, зависящая от  $\varepsilon$ .

Точное решение задачи (1) – (2) записывается по формуле

$$x(t) = \int_0^t \frac{1}{\varepsilon} y(s) \exp\left(\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t a(\tau) d\tau\right) ds,$$

где  $0 \leq t \leq 1$ .

Пусть  $a(t) \leq a_0$ , где  $a_0 > 0$ . Тогда  $\|A^{-1}\| \leq \exp(a_0/\varepsilon)/\varepsilon$ . Нормы обратных операторов  $\|A_n^{-1}\|$  ограничены выражением (см. [1, с.19]):

$$\|A_n^{-1}\| \leq \frac{\|A^{-1}\|}{1 - \varepsilon_n \|A^{-1}\|} \leq \frac{\exp(a_0/\varepsilon)}{\varepsilon - \varepsilon_n \exp(a_0/\varepsilon)} \rightarrow \frac{\exp(a_0/\varepsilon)}{\varepsilon}$$

при  $n \rightarrow \infty$ .

Для  $a(t) \leq -a_0$ , где  $a_0 \geq 0$ , получаем

$$\|A_n^{-1}\| \leq \frac{\|A^{-1}\|}{1 - \varepsilon_n \|A^{-1}\|} \leq \frac{1}{\varepsilon \exp(a_0/\varepsilon) - \varepsilon_n} \rightarrow \frac{1}{\varepsilon \exp(a_0/\varepsilon)}$$

при  $n \rightarrow \infty$ .

Особый практический интерес представляет случай, когда  $\varepsilon \rightarrow 0$ . Тогда при  $a(t) \leq -a_0$ , где  $a_0 \geq 0$ , получаем  $\|A_n^{-1}\| \rightarrow 0$ .

**Теорема 2.** Пусть функции  $a(t), y(t) \in H_\alpha^r (0 < \alpha \leq 1, r > 0$  — целое число). Тогда в условиях теоремы 1 приближённые решения  $x_n^*(t)$  сходятся к точному решению  $x^*(t)$  со скоростью,

$$\|x^* - x_n^*\|_X \leq K_2(\varepsilon) \frac{\ln n}{n^{\alpha+r}} = O\left(\frac{\ln n}{n^{\alpha+r}}\right), \quad (10)$$

где  $K_2(\varepsilon)$  — положительная постоянная, не зависящая от  $n$ , но, вообще говоря, зависящая от  $\varepsilon$ .

**Доказательство.** Задача (1) – (2) эквивалентна операторному уравнению вида

$$Ax \equiv Gx + Tx = y \quad (x \in X, y \in Y),$$

где  $Gx = \varepsilon x'(t)$ ;  $Tx = a(t)x(t)$ ;  $A: X \rightarrow Y(X, Y, X_n, Y_n$  введены в доказательстве теоремы 1);  $G: X \rightarrow Y$ ;  $T: X \rightarrow Y$ ;  $G, T$  — линейные операторы.

Соответствующее приближённое уравнение имеет вид

$$A_n x_n \equiv P_n A x_n = y_n \quad (x_n \in X_n, y_n = P_n y \in Y_n),$$

$$A_n x_n = G x_n + P_n T x_n, P_n T: X \rightarrow Y, G: X_n \rightarrow Y_n.$$

Докажем, что оператор  $G$  — линейно обратим. Пусть  $Gx = z$ , тогда

$$x = G^{-1}z = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t z(\tau) d\tau \leq \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \max_{0 \leq \tau \leq t} |z(\tau)| d\tau,$$

то есть  $\|G^{-1}z\| \leq \frac{1}{\varepsilon} \max_{0 \leq t \leq 1} |z(t)|$  или  $\|G^{-1}\|_{Y \rightarrow X} \leq \frac{1}{\varepsilon}$ . Однородность и аддитивность оператора  $G$  очевидна.

Поскольку  $\|A - A_n\|_{Y_n \rightarrow Y} = \|T - P_n T\| \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$  (см. теорему 1), то следуя [1, с.27] имеем

$$\begin{aligned} \|x^* - x_n^*\|_X &\leq \|E - A_n^{-1} P_n T\|_{X \rightarrow X} \|G^{-1}\|_{Y \rightarrow X} \|Gx^* - P_n Gx^*\|_Y \leq \\ &\leq \{1 + K_1(\varepsilon)O(1)\} \|G^{-1}\|_{C \rightarrow C^{(1)}} 2 \|P_n\|_{C \rightarrow C} E_{n-1}(Gx^*)_C \leq \\ &\leq K_2(\varepsilon) \frac{\ln n}{n^{\alpha+r}} = O\left(\frac{\ln n}{n^{\alpha+r}}\right), \end{aligned}$$

так как

$$E_{n-1}(Gx^*) = O\left(\frac{1}{n^{\alpha+r}}\right) (Gx^* \in H_\alpha^r); \|P_n\|_{C \rightarrow C} = O(\ln n);$$

$|A_n^{-1}\|_{Y_n \rightarrow X_n} \leq \bar{K}_1(\varepsilon)$  (см. следствие к теореме 1);  $|P_n T\|_{X_n \rightarrow Y} = O(1)$ .

Заданная погрешность вычислений  $\delta$  достигается при  $n > n_0$ , где  $n_0 \in \mathbf{N}$  — минимальное решение неравенства

$$K_2(\varepsilon) \frac{\ln n}{n^{\alpha+r}} \leq \delta$$

относительно  $n$ .

### Список литературы

1. Габдулхаев Б.Г. Оптимальные приближения решений линейных задач. — Казань: Из-во Казан. ун-та, 1980. — 232 с.
2. Даугавет И.К. Введение в теорию приближения функций. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. — 184 с.
3. Натансон И.П. Конструктивная теория функций. — М-Л.: Гостехиздат, 1949. — 688 с.

## ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРИ ПНЕВМОЗАРЯЖАНИИ

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.614](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.614)

Ачеева Э.А., Локьяева С.М., Лопушняк Е.В.

### АННОТАЦИЯ

Широкое применение пневматического способа заряжания и транспортирования гранулированных взрывчатых веществ (ВВ) при ведении горных работ указывает на необходимость исследований недостатков, сопутствующих этому методу: а именно возникновение электризации в зарядном шланге. Электрический потенциал и заряд являются основными параметрами энергии, выделяющейся при разряде, количество теплоты которого идет на разогрев ВВ. В итоге, зная минимальные скорости движения потока аэрозвеси, можно контролировать величину электрического заряда, превышение которого ведет к незапланированному взрыву.

### ANNOTATION

The wide use of pneumatic method of loading and portage of granular explosives (BB) at the conduct of mountain works specifies on the necessity of researches of defects concomitant to this method: namely an origin of electrification in a charge hose. Electric potential and charge are the basic parameters of the energy distinguished at a digit, the amount of warmth of that goes to the warming-up of VV. In the total, knowing the minimum

temperatures of selfignition of a erodredges, it is possible to control the size of electric charge and exceeding of that conduces to the unplanned explosion.

**Ключевые слова:** скорость транспортирования, пневмозаряжание, электризация, влияние, взрывчатое вещество.

**Keywords:** transportation speed, pneumoloading, electrification, influence, explosive.

При исследовании влияния на электризацию скорости транспортирования взрывчатых веществ параметр скорости менялся в широком диапазоне: от 5 м/с до 25 м/с, что осуществлялось работой зарядной установки в соответствующем, заранее определенном режиме. Скорость движения частиц ВВ по шлангу определялась с помощью радиоактивных изотопов.

Для изучения этой закономерности были изготовлены из оргстекла имитаторы гранул взрывчатого вещества диаметром 1,5 мм. В них помещались радиоактивный кобальт и вольфрам для придания частицам необходимого веса. Меченые частицы окрашивались в яркий цвет. Удельный вес этих частиц определялся способом водоизмещения после помещения в них радиоактивного вещества и соответствовал удельному весу транспортируемого ВВ. Устройство для загрузки меченых частиц выполнено из пробкового крана, один конец которого через тройник соединялся с транспортирующей магистралью, второй закрывался заглушкой.

Это устройство устанавливалось на расстоянии 0,5 м от конца нагнетательного патрубка заряжающего аппарата и на расстоянии 15 м от места установки первого счетчика, что превышало длину разгонного участка для исследуемых частиц. Расстояние между первым и вторым счетчиками составляло 8,5 м. Измерение скорости производилось на установившемся

режиме работы пневмозаряжающей системы. В процессе работы установки открывался пробковый кран и меченые частицы попадали в транспортирующую магистраль, где подхватывались пылевоздушным потоком ВВ.

Прохождение меченых частиц перед счетчиком регистрировалось на пленке осциллографа в виде всплеска (пика). По расстоянию между пиками на осциллограмме определялось время движения меченой частицы на отрезке пути между соседними счетчиками. По пройденному пути и времени устанавливалась скорость движения частицы, что соответствовало скорости транспортирования ВВ.

Исследовалось влияние скорости транспортирования на величину потенциала электризации. Опыты проводились с аммиачной селитрой, гранулитом АС-8 и игданитом при транспортировании их по полиэтиленовому и резиновому диэлектрическим шлангам диаметром 36 мм. Относительная влажность воздуха в момент проведения опытов составляла 45-50%, температура окружающей среды +15°C. относительная влажность ВВ была равна 0,3% - 0,5%. плотность пылевоздушного потока в шланге находилась в пределах 8 – 10 кг на 1 м<sup>3</sup> воздуха в зависимости от типа транспортируемого ВВ и материала шланга. В таблице 1 приведены данные по исследованию влияния скорости транспортирования ВВ на процесс электризации.

Таблица 1.

**Значения потенциала электризации в зависимости от скорости транспортирования ВВ по шлангу.**

Материал шланга	Транспортируемое ВВ	Потенциал в кВ при скоростях транс-портирования по пневмопроводу, м/с				
		5	10	15	20	
Полиэтилен диэлектрич.	Аммиачная селитра	2,7	5,3	7,6	8,8	9,4
	Гранулит АС-8	2,2	4,5	6,4	7,3	8,0
	игданит	0,6	1,3	2,0	2,5	2,8
Резина	Аммиачная селитра	1,1	2,0	3,0	4,2	4,7
	Гранулит АС-8	0,9	1,5	2,4	3,1	3,5
	Игданит	1,2	2,7	3,6	4,7	5,5

По результатам опытов построены графики зависимости величины потенциала электризации от скорости транспортирования (рис. 1) и определены

корреляционные уравнения связи между этими параметрами

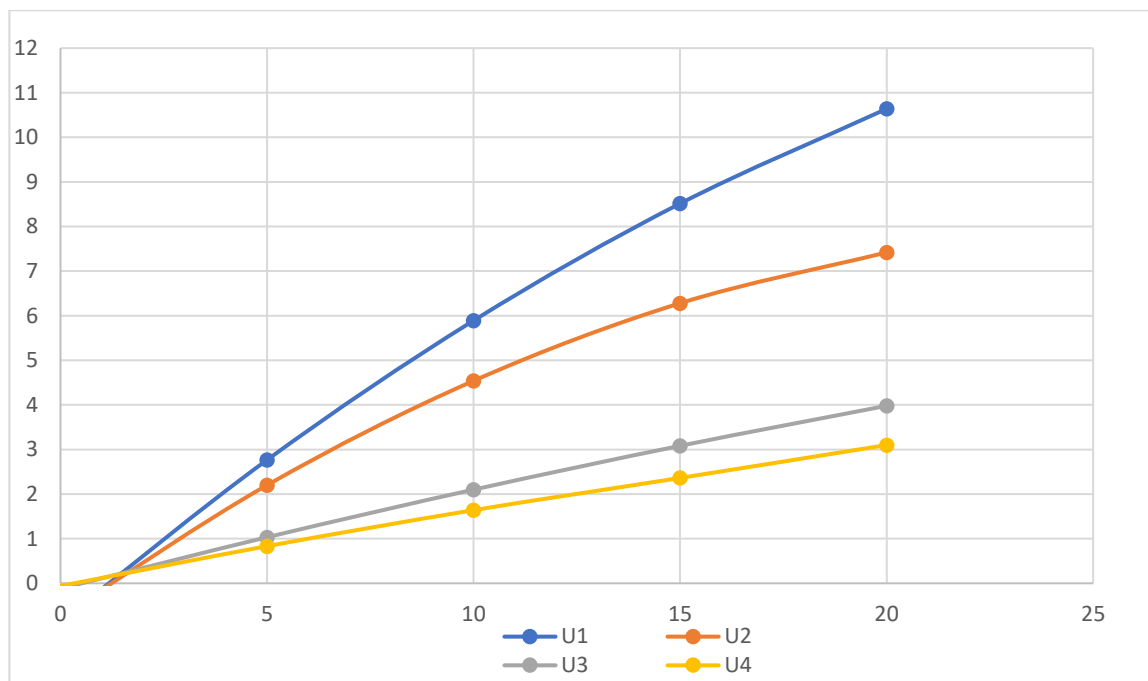


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость между потенциалом статического электричества и скоростью транспортирования рассыпных ВВ

1 – резиновый шланг - селитра; 2 – резиновый шланг - гранулит АС-8;  
3 – полиэтиленовый шланг – АС-8; 4 – полиэтиленовый шланг - селитра.

При транспортировании аммиачной селитры, гранулита АС-8 и игданита по полиэтиленовому диэлектрическому шлангу величина электростатического потенциала изменялась по уравнениям:

для аммиачной селитры

$$U = -0,86 + 0,775V - 0,01V^2$$

для гранулита АС-8  $U = -0,74 + 0,648V - 0,012V^2$

для игданита  $U = -0,40 + 0,208V - 0,003V^2$

При транспортировании указанных взрывчатых веществ по резиновому шлангу величина потенциала статического электричества в зависимости от скорости определяется уравнениями:

для аммиачной селитры

$$U = -0,06 + 0,187V - 0,0017V^2$$

для гранулита АС – 8

$$U = -0,12 + 0,239V - 0,0017V^2$$

для игданита  $U = -0,24 + 0,315V - 0,0034V^2$

где  $U$  – величина электростатического потенциала, кВ;  $V$  – скорость транспортирования, м/с.

Из приведенных зависимостей следует, что потенциал электризации растет с повышением скорости транспортирования. Наиболее интенсивный рост электростатических напряжений происходит в интервале скоростей от 0 до 20 м/с. Затем с повышением скорости транспортирования увеличение потенциала электризации замедляется. Для большинства материалов следует предполагать, что с дальнейшим повышением скорости кривые электризации еще больше будут выравниваться, и какой-то скорости наступит предел, за которым дальнейший рост потенциала прекратится вообще.

В литературных источниках [2] указывается, что величина предельной скорости, при которой прекращается дальнейший рост потенциала, колеблется в пределах 50-55 м/с. Видимо, основной причиной, обуславливающей предельный потенциал, является увеличение токов утечки. При равенстве скорости образования зарядов и скорости утечки их в землю дальнейший рост потенциала с увеличением скорости движения частиц транспортируемого ВВ прекращается. Однако, следует учитывать и то обстоятельство, что разнообразие свойств материалов шлангов может изменить величину предельной скорости. Скорость транспортирования, при которой электризация почти прекращается, по мнению большинства авторов, находится в пределах 1-2 м/с.

#### Библиографический список

- Белин В.А. Процесс формирования пылевидных частиц при взрывном разрушении горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2002. №5. С. 93.
- Ачеева Э.А., Шелехов П.Ю., Плиева М.Т. Зависимость параметров электростатического поля в зарядном шланге от скорости транспортирования при пневмозарядании гранулированными ВВ // Уголь, 2013. №8. С.100-101.
- Шелехов П.Ю., Белин В.А., Ачеева Э.А., Гаврина О.А. Влияние скорости транспортирования и плотности гранулированных взрывчатых веществ на их электризацию при пневмозарядании взрывных полостей // Устойчивое развитие горных территорий, 2014.
- Шелехов П.Ю., Ачеева Э.А., Баликоева М.С. Исследование взрывоопасных условий

электризации при механизированном зарядании взрывных полостей россыпными взрывчатыми веществами //Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012, - №4. – С. 342-345.

5.Белин В.А., Кутузов Б.Н., Ачеева Э.А. Снижение интенсивности и вероятности воспламенения взрывчатых аэрозвесей при пневмозарядании //Горный информационно-аналитический бюллетень, 2014, - №5. – С. 356-361.

### SOLUTION WITH SCIENTIFIC PACKAGING SCILAB

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.613](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.71.613)

<sup>1</sup>Djamale O.Nabiyeva, <sup>2</sup>Afsuna X.Xankishiyeva

<sup>1</sup>Baku Biznes University,

<sup>2</sup>Azerbaijan State Pedagogical University

#### SUMMARY

In the present case, the solution of the ordinary differential equation in the Scilab software package is shown.

**Key words:** Differential equation, Scilab package.

It is known that,

$$H(t, x, x', x'', \dots, x^{(n)}) = 0 \quad (1)$$

the equation in the form is called the n-order differential equation.

The solution of the differential equation  $x(t)$ , converts the equation into the same. System of n-order differential equations

$$\begin{aligned} x'_1 &= f_1(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ x'_2 &= f_2(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &\vdots \\ x'_n &= f_n(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (2)$$

system. (2) system solution

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$$

It is a vector and converts the system's equations into one.

$$[y, w, iw] = ode([type], y0, t0, t, [rtol, atol], f, [jac], [w, iw])$$

Here  $y0$  – initial condition vector;  $t0$  - the starting point of the integration interval;  $t$  – coordinates of the network nodes;  $f$  – (2) an external function that determines the right side of the equation ;  $y$  – (3) solutions vector.

Thus,

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= f(t, y) \\ y(t0) &= y0 \end{aligned}$$

to solve the ordinary differential equation in the form

$$y = ode(y0, t0, t, f)$$

need to call the function. **ode** Let's take a look at the non-essential parameters of the function.

*type* - the parameter used to select the solution method or the type of problem to be solved with one of

Differential equations and systems have an infinite number of solutions, which are constants. Additional prerequisites and boundary conditions must be provided for a single solution. The number of such conditions must be consistent with the design of the differential equation or system. Differential equations, depending on the type of additional conditions, on the Koshi problem - all additional conditions are given at one (usually the first) point of the interval. Additional terms of the boundary value problems are provided within the range boundaries.

In many cases there is an exact solution of the equations. However, sometimes it is not possible to find the exact solution of the equation, especially the system of equations. In these cases, the solution is found using numerical methods. Numerical methods are also used to find the numerical solution of the equation known as the analytical solution.

To solve the differential equation and system, Scilab has the following function.

the lines; *adams* - used in solving Adams method of differential equations or systems; *stiff*- is used for solving tough issues; *rk* - used when solving differential equations or systems; *rkf* - displayed when selecting a five-step four-way Rungee-Kutt method; *fix* - Apply the Rungee-Kutt method to the intended steps;

*rtol, atol* - relative and absolute errors of calculations, vector with the size  $y$ , in case of silence using  $rtol = 0.00001$ ,  $atol = 0.0000001$ , *rkf* and *fix* parameters -  $rtol=0.001$ ,  $atol=0.0001$  happens; *jac* is a matrix showing the Jacobian side of the rigid system; The matrix is represented by an external function in the form of  $J = jack(t, y)$ ; *w, iw* are vectors that store information about integration settings.

Let's look at using functions to solve the following issues.

#### Problem 1.

$$\frac{dx}{dt} + x = \sin(xt), x(0) = 1.5$$

let's solve the Koshi problem.

**Solution**

Let's write equation above the way it is

$$\frac{dx}{dt} = -x + \sin(xt), x(0) = 1.5.$$

The graphic modeling the process described in this equation is as follows:

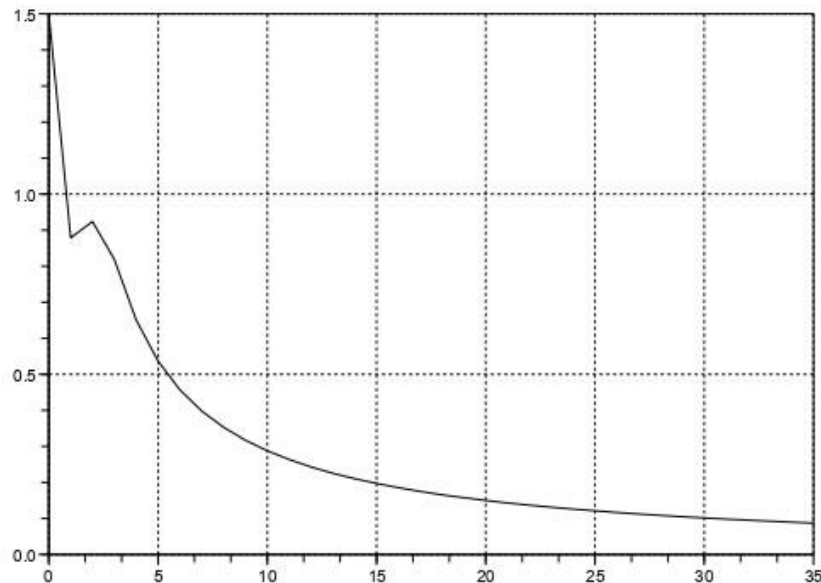


Figure 1. Problem 1's solution schedule

Then accept it as an external function

Let's use the function  $y = \text{ode}(x_0, t_0, t, f)$ .

Parameters we use:

f - reference to created function  $f(t, x)$ ;

t - network coordinates;

$x_0, t_0$  - prerequisites  $x(0) = 1.5$

y is the result of the function;

**Listing 1**

```
-->function      yd=f(t,x),yd=-x+sin(t*x),end
function;
```

```
-->x0=1.5;t0=0;t=0:1:35;
```

```
-->y=ode(x0,t0,t,f);
```

```
-->plot(t,y)
```

**Problem 2.**

$$x' = \cos(xy)$$

$$y' = \sin(x+ty)$$

$$x(0) = 0 \quad y(0) = 0$$

solve the Koshi problem in [0.10].

Below are the Siclab commands required for both numerical and graphical solution of functions and problems that describe the system of ordinary differential equations.

**Listing 2**

// Function describing the system of differential equations

```
function dy=syst(t,y)
```

```
dy=zeros(2,1);
```

```
dy(1)=cos(y(1)*y(2));
```

```
dy(2)=sin(y(1)+y(2)*t);
```

```
end function
```

// Solution of the system of differential equations

```
x0=[0;0];t0=0;t=0:*0.1*:10;y=ode(x0,t0,t,syst);
```

```
// Graphical solution of the problem plot(t,y)
```

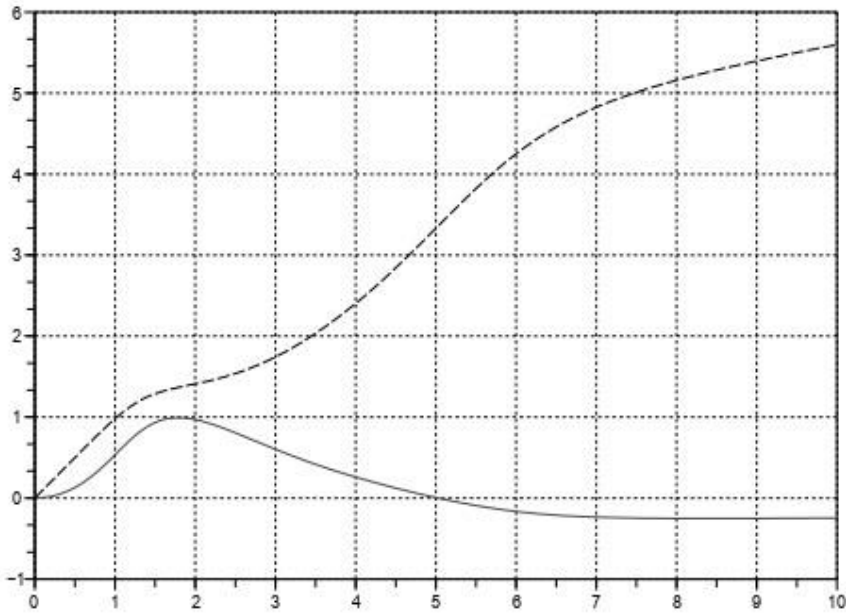


Figure 2. Problem 2's solution schedule

**Problem 3.** Aşağıda verilmiş sistem üçün Koşi məsələsini həll edin

$$\frac{dX}{dt} = \begin{pmatrix} 119.46 & 185.38 & 126.88 & 121.03 \\ -10.395 & -10.136 & -3.636 & 8.577 \\ -53.302 & -85.932 & -63.182 & 54.211 \\ -115.58 & -181.75 & -112.8 & -199 \end{pmatrix} X; \quad X(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

#### System solution

**Listing 3.** Solution of Problem 3

```
-->B=[119.46 185.38 126.88 121.03;-10.395 -
10.136 -3.636 8.577;
-->-53.302 -85.932 -63.182 -54.211;-115.58 -
181.75 -112.8 -199];
-->function dx=syst1(t,x), dx=B*x, end function
```

```
-->function J=Jac(t,y),J=B, end function
-->x0=[1;1;1;1]; t0=0; t=0:0.01:5;
-->y=ode("stiff",x0,t0,t,syst1, Jac);
-->plot(t,y); xgrid();
```

Figure 3 shows the graphical solution of the problem.

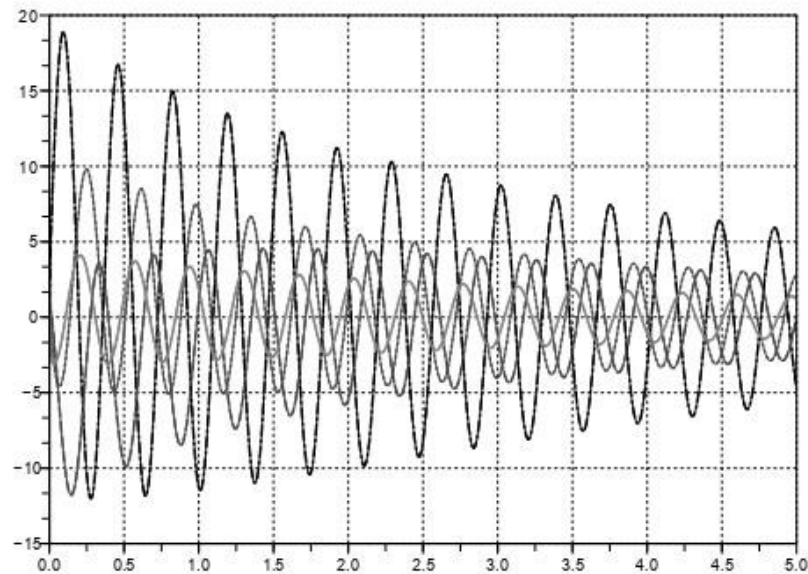


Figure 3. Problem 3 graphical solution

**Problem 4.** Solve the system of nonlinear rigid differential equations

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = -7x_1 + 7x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = 157x_1 - 1.15x_2x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = 0.96x_1x_2 - 8.36x_3 \end{array} \right\}, \quad X(0) = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Figure 4 shows the solution of the system at the interval [0,2].

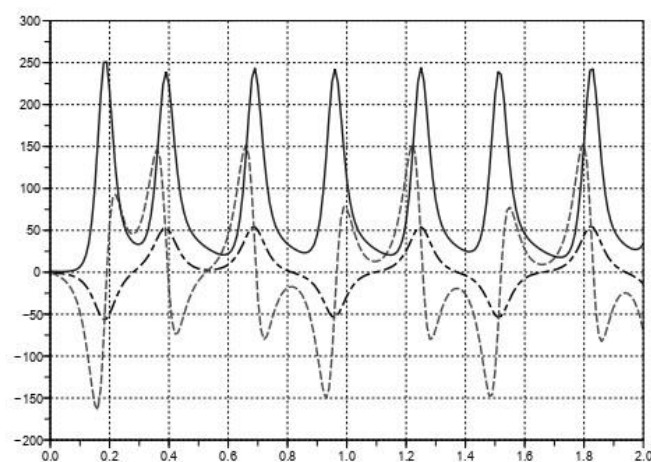


Figure 4. Problem 4 graphical solution

**Listing 4.**  
function dx=syst2(t,x) // Function defining a  
system of ODE  
dx=zeros(3,1);  
dx(1)=-7\*x(1)+7\*x(2);

dx(2)=157\*x(1)+x(2)-1.15\*x(1)\*x(3);  
dx(3)=0.96\*x(1)\*x(2)-8.36\*x(3);  
end function  
-->>// Solution-->x0=[-1;0;1]; t0=0;  
t=0:0.01:2;y=ode("stiff",x0,t0,t,syst2);

```
-->plot(t,y); xgrid();
```

**Problem 5.** Consider the following boundary problem [0.25; 2] Solve in the interval.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 4\frac{dx}{dt} + 13 = e^{\sin(t)}, \quad x(0.25) = -1, \quad x'(0.25) = 1.$$

Since  $y = \frac{dx}{dt}$  let us convert the equation to the system by substituting it.

$$\frac{dy}{dt} = -4y - 13x + e^{\sin(t)}, \quad \frac{dx}{dt} = y, \quad y(0.25) = 1, \quad x(0.25) = -1.$$

Let us design and solve the system computing function.

**Listing 5** Problem 5 solution

```
function F=FF(t,x)
F=[-4*x(1)-13*x(2)+exp(t);x(1)];
end function
-->// Solution of the system of differential
equations-->X0=[1;-1];t0=0.25;t=0.25:0.05:2;
-->y=ode("stiff",X0,t0,t,FF);
-->// Graphic representation of the solution
-->plot(t,y); xgrid();
```

The graphical solution of the problem is shown in Figure 5.

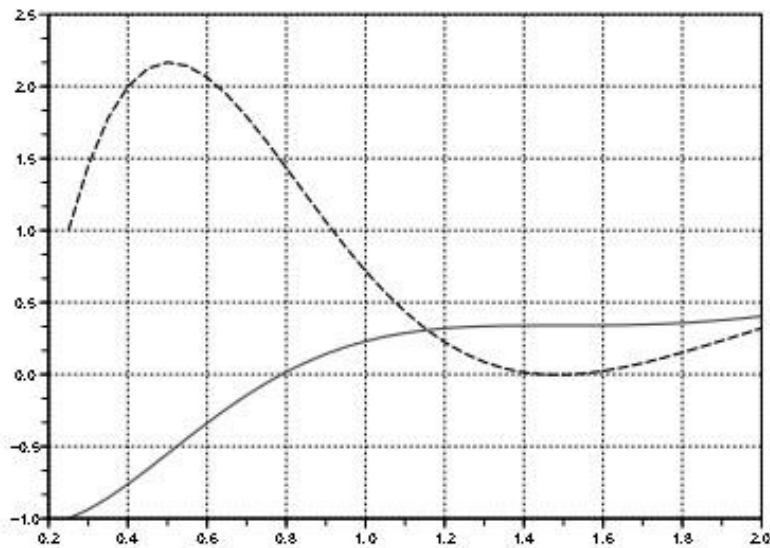


Figure 5. Problem 5's solution schedule

## REFERENCES

1. Verjbitski V.M. Fundamentals of Numerical Methods. — M.: Vishaya Shkola, 2002. — 840 p. (In Russian)

2. Goloskov D.P. Equations of mathematical physics. Problem solving in Maple system. — Spb.: Piter, 2004. — 539 p. (In Russian)

3. Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. Equations of mathematical physics. — M.: Nauka, 1966. — 724 p. (In Russian)

# ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал

№ 2 (71)/ 2020

6 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](mailto:info@euroasia-science.ru) ;

[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

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