



NORWEGIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL SCIENCE

№53/2021

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 24 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
- Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
- Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
- Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
- Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
- Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
- Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
- Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
- Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
- Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
- Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
- Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
- Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
- Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
- Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
- Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
- Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
- Chan Jiang (Peking University, China) and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>

CONTENT

CHEMICAL SCIENCES

<i>Kulikov M.</i> ELECTRONIC ABSORPTION SPECTRA OF ALKYLSTYRYL KETONES AND THEIR DERIVATIVES.....	<i>Subkhankulova E.</i> ARSENIC IN THE HUMAN BODY.....
3	6

MATHEMATICAL SCIENCES

<i>Drapezo V.</i> PROOF OF FERMAT'S GREAT THEOREM.....
11

PHARMACEUTICS

<i>Slobodianiuk L., Budniak L., Marchyshyn S., Ivasiuk I.</i> FATTY ACIDS COMPOSITION STUDY OF <i>CYPERUS ESCULENTUS</i> L.	<i>Nemchenko A., Tsareva K.</i> SCIENTIFIC AND APPLIED APPROACHES TO IMPROVING THE SYSTEM OF PRICES AND TARIFFS FOR MEDICINES.....
20	28
<i>Shatalova O., Malochtan L., Pohodina L., Kyslychenko V., Burda N.</i> STUDY OF CYTOTOXIC ACTIVITY OF EXTRACTS OF THE ARISTOLOHIA CLEMATITIS L.	
24	

PHYSICAL SCIENCES

<i>Yurov V., Guchenko S., Salkeeva A., Kusenova A.</i> LASER SURFACE ALLOYING METALS AND ALLOYS.....
35

TECHNICAL SCIENCES

<i>Babeniuk G.</i> MAXIMUM FLOW PROBLEM IN DELAY TOLERANT NETWORKING.....	<i>Kikin I.</i> ADVANCED DATA PROCESSING TECHNOLOGY FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS
41	48
<i>Melnyk M., Beznosyk Yu., Bugaieva L.</i> MODELING AND DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM FOR SODIUM NITRATE EVAPORATION PROCESS.....	<i>Chaouachi K., El Helali N., Pavlyuk (Pavliouk)A., Plossky A., Souai Ep Lakhal S.</i> MISE EN ŒUVRE D'UN SYSTÈMES DE SURVEILLANCE DU SPECTRE DANS LA GAMME HAUTE FRÉQUENCE DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT AYANT DES TERRITOIRES RELATIVEMENT PETITS
43	54

CHEMICAL SCIENCES

ELECTRONIC ABSORPTION SPECTRA OF ALKYLSTYRYL KETONES AND THEIR DERIVATIVES

Kulikov M.

ORCID: 0000-0001-8944-9522

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemical Technology and Ecology of the Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University

ЭЛЕКТРОННЫЕ СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ АЛКИЛСТИРИЛКЕТОНОВ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

Куликов М.А.

ORCID: 0000-0001-8944-9522

Кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой Химическая технология и экология Березниковского филиала ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-3-6](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-3-6)

Abstract

The electronic absorption spectra of substituted alkylstyryl ketones in dimethylformamide and concentrated sulfuric acid have been studied. The character of the spectral curves is shown, their quantitative characteristics are given. The effect of the nature of the solvent on the character of the spectra and the position of the absorption maxima is revealed.

Аннотация

Изучены электронные спектры поглощения замещенных алкилстирилкетонов в диметилформамиде и концентрированной серной кислоте. Показан характер спектральных кривых, приведены их количественные характеристики. Выявлено влияние природы растворителя на характер спектров и положение максимумов поглощения.

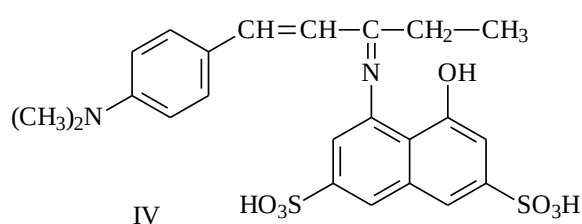
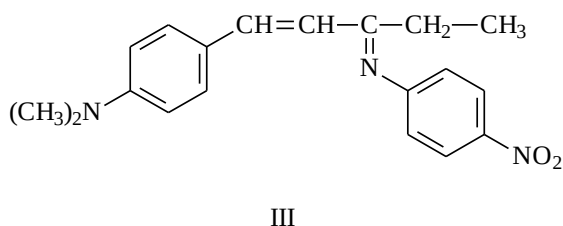
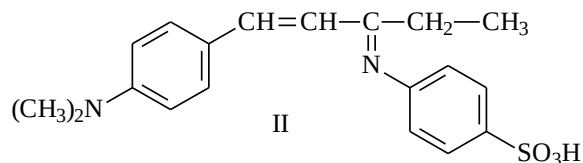
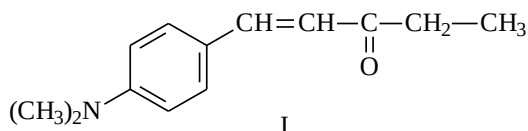
Keywords: electronic absorption spectra, substituted alkylstyryl ketones, azomethine compounds, electronic transitions

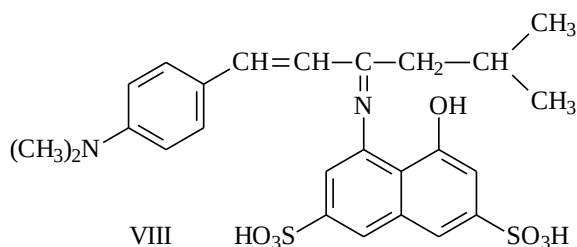
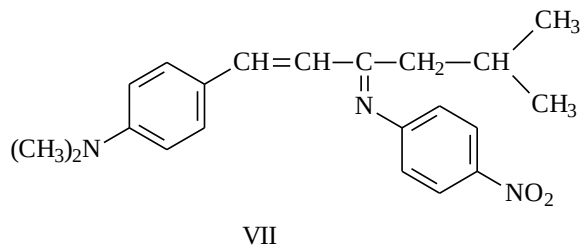
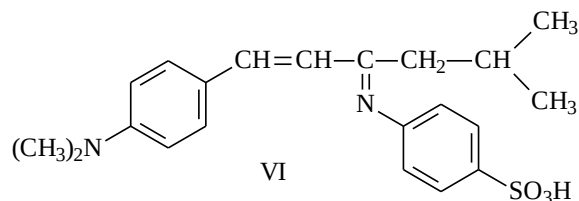
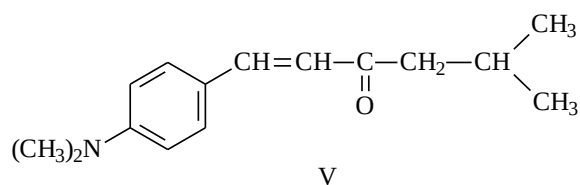
Ключевые слова: электронные спектры поглощения, замещенные алкилстирилкетоны, азометиновые соединения, электронные переходы

ВВЕДЕНИЕ

Представленная работа продолжает исследования в области замещенных алкилстирилкетонов и их производных. Ее целью является изучение электронных спектров поглощения диметиламинозамещенных этилстирилкетона (I), изобутилстирилкетона (V) и их азометиновых производных (II-IV) и

(VI-VIII). В качестве метода исследования выбрана электронная (UV-Vis) спектроскопия. Данный метод широко используется при исследовании свойств органических и неорганических соединений, в аналитической практике для определения состава веществ и в других областях [1-10].





ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Алкилстирилкетоны (I, V) получены по реакции Кляйзена-Шмидта [11], азометиновые производные – конденсацией исходных кетонов с сульфаниловой кислотой, 4-нитроанилином и Аш-кислотой [12-15].

Регистрацию спектров проводили на спектрофотометре EcoView УФ-3200 в интервале длин волн от 275 до 500 нм при толщине поглощающего свет слоя 10 мм. Для обработки результатов использовано оригинальное программное обеспечение. Рабочие растворы с концентрацией 10^{-5} моль/дм³ приготовлены разбавлением контрольных

растворов соответствующим растворителем. В качестве растворителей использованы диметилформамид (ДМФА) и концентрированная серная кислота реактивной квалификации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены электронные спектры поглощения (ЭСП) кетонов (I, V) в ДМФА и серной кислоте. Спектры в ДМФА имеют по одному максимуму в области 330 нм (табл. 1), которые отвечают $\pi \rightarrow \pi^*$ электронным переходам в рамках общей системы сопряжения молекул. Поглощение, отвечающее $n_p \rightarrow \pi^*$ переходу, в ДМФА не проявляется.

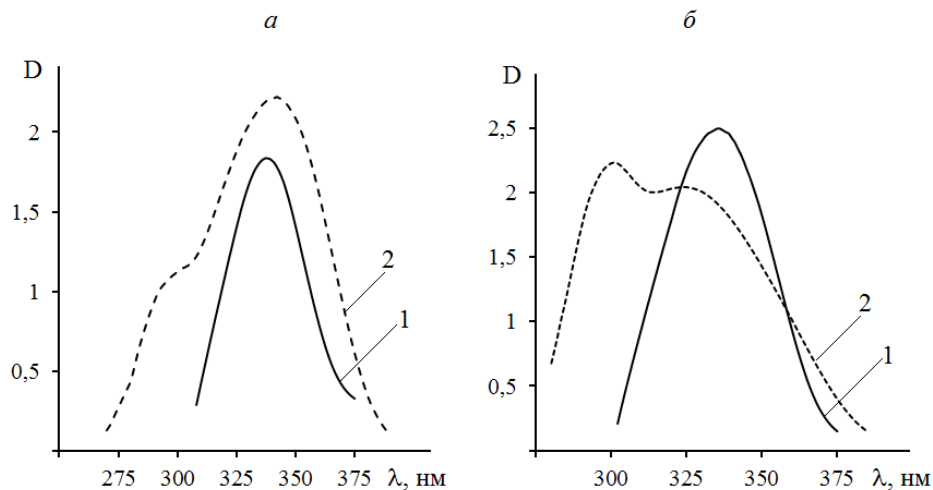


Рис. 1 ЭСП кетона (I) (а) и кетона (V) (б): 1 – ДМФА; 2 – H₂SO₄

При переходе от ДМФА к серной кислоте характер спектров существенно изменяется. Длинноволновый максимум претерпевает небольшое смещение и появляется коротковолновый максимум.

Вероятной причиной таких изменений могут служить процессы ионизации, а также стерические факторы в ионизированных молекулах.

Таблица 1

Соединение	ДМФА		Серная кислота	
	λ_1 , нм (lg ϵ)	λ_2 , нм (lg ϵ)	λ_1 , нм (lg ϵ)	λ_2 , нм (lg ϵ)
I	-	338 (5,26)	293 (5,01)	342 (5,35)
II	360 (5,09)	444 (4,77)	329 (5,14)	-
III	340 (5,04)	389 (4,78)	335 (5,21)	-
IV	349 (5,04)	415 (5,03)	300 (5,15)	401 (4,77)
V	-	331 (5,39)	296 (5,09)	327 (5,06)
VI	359 (5,10)	442 (4,48)	330 (5,09)	-
VII	340 (5,08)	407 (5,02)	332 (5,05)	-
VIII	353 (5,01)	415 (5,16)	311 (5,11)	401 (4,96)

Переход от кетонов к их азометиновым соединениям приводит к появлению новых полос в длинноволновой области, которые характеризуют $n \rightarrow \pi^*$ электронные переходы с участием азометинового хромофора (рис. 2, 3). Доказательством данного отнесения служит исчезновение указанных полос в сернокислотной среде [16].

Вместе с тем, в сернокислотных растворах азометиновых производных (IV) и (VIII) длинноволновое поглощение сохраняется. Вероятнее всего, в этих соединениях азометиновая группа экранирована объемными заместителями, что затрудняет ее контакт с H_2SO_4 . Количественные показатели ЭСП азометиновых производных приведены в таблице 1.

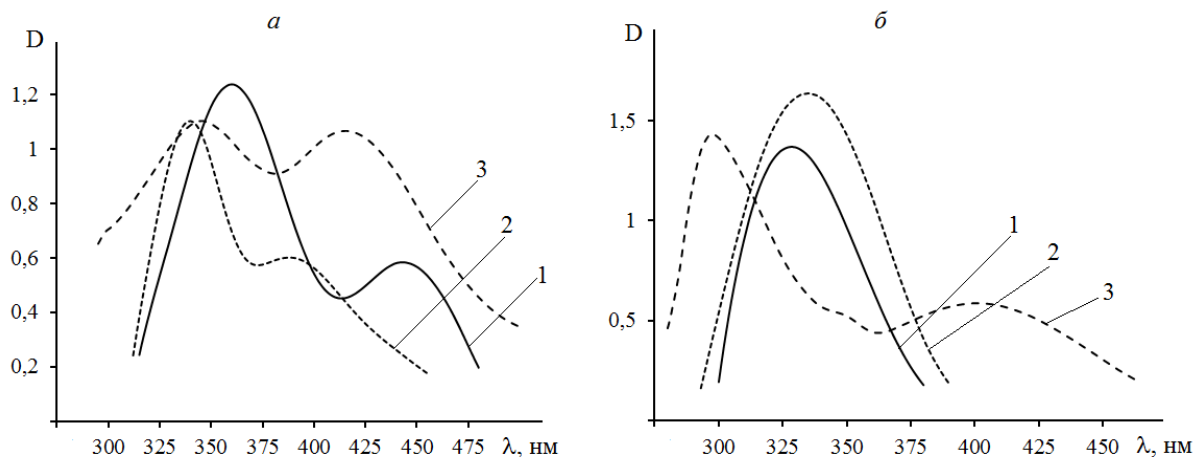


Рис. 2 ЭСП азометиновых соединений в ДМФА (а) и H_2SO_4 (б): 1 – (II); 2 – (III); 3 – (IV)

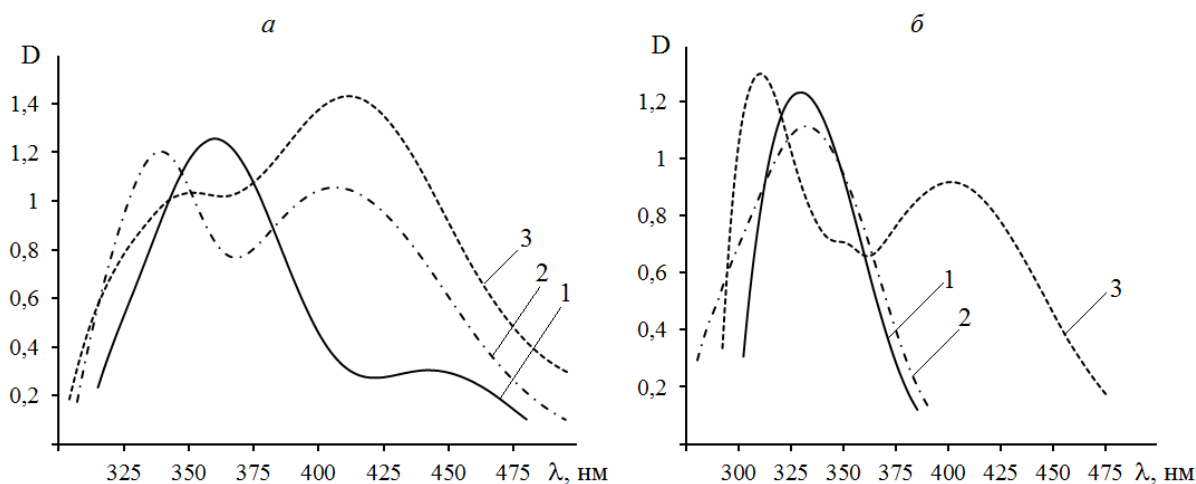


Рис. 3 ЭСП азометиновых соединений в ДМФА (а) и H_2SO_4 (б): 1 – (VI); 2 – (VII); 3 – (VIII)

ВЫВОДЫ

1. Изучены электронные спектры поглощения некоторых замещенных алкилстирилкетонов в

ДМФА и концентрированной серной кислоте. Показано влияние природы растворителя на характер спектров и положение спектральных максимумов.

2. Проведено отнесение максимумов поглощения с типами электронных переходов в молекулах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Amphlett J.T.M., Ogden M.D., Yang W., Choi S. Probing Ni²⁺ and Co²⁺ speciation in carboxylic acid based deep eutectic solvents using UV/Vis and FT-IR spectroscopy // *Journal of molecular Liquids*. 2020. Vol. 318. 114217 (DOI: 10.1016/j.molliq.2020.114217).
2. Torraga M.G.F., Colman M.M.E., Giudici R. Hydrolysis of acetic anhydride: In situ, real-time monitoring using NIR and UV-Vis spectroscopy // *Chemical Engineering Science*. 2019. Vol. 210. 115244 (DOI: 10.1016/j.ces.2019.115244).
3. Gogoi P., Mohan U., Borpuzari M.P., Boruah A., Baruah S.K. UV-Visible spectroscopy and density functional study of solvent effect on halogen bonded charge-transfer complex of 2-Chloropyridine and iodine monochloride // *Arabian Journal of Chemistry*. 2019. Vol. 12. Iss. 8. P. 4522-4532 (DOI: 10.1016/j.arabjch.2016.07.011).
4. Niermeier Ph., Teichmann L., Neumann B., Stammner H.-G., Mitzel N.W. 1,4,5,8-Tetraethynylanthracene – Synthesis, UV/Vis Absorption Spectroscopy and its Application as Building Block for Tetradentate Acceptor Molecules // *European Journal of organic Chemistry*. 2018. Vol. 2018. Iss. 47. P. 6780-6786 (DOI: 10.1002/ejoc.201801317).
5. Zaman A.C., Kaya F., Kaya C. A study on optimum surfactant to multiwalled carbon nanotube ratio in alcoholic stable suspensions via UV-Vis absorption spectroscopy and zeta potential analysis // *Ceramics international*. Vol. 46. Iss. 18. P. 29120-29129 (DOI: 10.1016/j.ceramint.2020.08.085).
6. Калекин Р.А. Удельный показатель поглощения как фактор идентификации и количественного определения нейролептиков производных бензамида // *Вестник ВГУ. Серия: Химия, Биология, Фармация*. 2012. № 2. С. 249-251.
7. Биглова Ю.Н., Крайкин В.А., Торосян С.А., Михеев В.В., Мустафин А.Г., Колесов С.В., Мифтахов М.С. УФ-спектроскопия производных метанофуллеренов с различной степенью замещения // *Журнал физической химии*. 2013. Т. 87. № 10. С. 1705-1708.
8. Хатымова Л.З., Кинзябулатов Р.Р., Хвостенко О.Г. Синглетные и триплетные переходы в УФ-спектрах оптического поглощения пентацена // *Химия высоких энергий*. 2018. Т. 52. № 1. С. 24-30 (DOI: 10.7868/S0023119718010052).
9. Сартаков М.П., Комиссаров И.Д., Дерябина Ю.М. Исследование электронных спектров поглощения гуминовых кислот торфов среднетаежной зоны Западной Сибири // *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 7. С. 48-55.
10. Клубин В.В., Клубина К.А., Маковецкая К.Н. Зависимость электронных спектров поглощения водных растворов иода от концентрации // *Журнал физической химии*. 2017. Т. 91. № 6. С. 973-978 (DOI: 10.7868/S0044453717060140).
11. Куликов М.А. Конденсация 4-диметиламинобензальдегида с несимметричными метилалкилкетонами // *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2019. № 35. Vol. 2. P. 6-11.
12. Куликов М.А. Азометиновые производные Аш-кислоты и замещенных алкилстирилкетонов // *Вестник технологического университета*. 2020. Т. 23. № 1. С. 12-15.
13. Куликов М.А. Взаимодействие замещенных алкилстирилкетонов с сульфаниловой кислотой // *Вестник технологического университета*. 2019. Т. 22. № 12. С. 5-8.
14. Куликов М.А. Взаимодействие замещенных алкилстирилкетонов с 4-нитроанилином // *Вестник технологического университета*. 2019. Т. 22. № 10. С. 5-8.
15. Куликов М.А. Конденсация замещенного этилстирилкетона с 4-нитроанилином // *Материалы международной научно-практической конференции «Наука сегодня: история и современность» (г. Вологда, 30 октября 2019 г.)*. – Вологда: ООО «Маркер». 2019. С. 6-7.
16. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. – М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006. 438 с.

ARSENIC IN THE HUMAN BODY**Subkhankulova E.***Student:**1 course of the Faculty of Chemistry
FSBEI HE «Bashkir State University»**Ufa***МЫШЬЯК В ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА****Субханкулова Э.И.***Студентка:**1 курса химического факультета
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»**Уфа*DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-6-10](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-6-10)

Abstract

This article discusses the biological role of arsenic and collects little-known information about this element. It is explained why arsenic has become such a famous poison.

Аннотация

Рассматривается биологическая роль мышьяка, собрана малоизвестная информация об элементе. Объясняется, почему мышьяк стал таким знаменитым ядом.

Keywords: arsenic, toxicity, poisoning, poison, arsenic compound, human body, dosage.

Ключевые слова: мышьяк, токсичность, отравление, яд, соединение мышьяка, организм человека, дозировка.

Введение

Мышьяк As (Arsenicum, от греч. Arsen – сильно действующий) [5]. Простое вещество 15-ой группы периодической системы. Хрупкий полуметалл цвета стали. Кристаллическое вещество, внешне напоминает чугун. Обладает средней химической активностью и имеет полиморфизм, который обуславливает двойную форму мышьяка – элемент амфотерен в любой химической форме, следовательно, его можно отнести как к металлам, так и к неметаллам. Мышьяк состоит из одного стабильного изотопа с массовым числом 75, искусственно выделены радиоактивные изотопы с массовыми числами 73, 74, 76 и 77 [6]. Электропроводность хуже, чем у серебра. В чистом виде в природе встречается редко, однако известно много соединений/минералов, содержащих мышьяк.

Цель работы

Целью данной работы является определение, посредством теоретических исследований, биологической роли мышьяка в жизни человека.

Мышьяк как химический элемент

Существует несколько аллотропных модификаций:

1. Желтый мышьяк (неметаллическая модификация).
2. Серый мышьяк (металлическая модификация).
3. Черный мышьяк.

Желтый мышьяк – это мягкое аморфное вещество, имеющее тетраэдрическую кристаллическую решетку. Свойствами он напоминает белый фосфор, но менее устойчив. Серая модификация является хрупким веществом, имеет гексагональную кристаллическую решетку. Черный мышьяк – нестабильную аморфную форму.

Нагретый на воздухе мышьяк горит голубовато-белым пламенем, выделяя плотные белые пары мышьяковистого ангидрида. При нагревании он взаимодействует с кислородом, водородом, другими неметаллами, металлами и с разными органическими соединениями. Соляная кислота слабо взаимодействует с мышьяком, образуется хлорид [5].

Мышьяк имеет достаточно высокую упругость пара. Чтобы определить упругость пара в области высоких давлений использовали различные варианты метода точек кипения и статического метода. Работу [7] выполнили методом Кнудсена и показали, что полученные значения скорости испарения мышьяка сильно занижены из-за малой величины коэффициента испарения. Все это происходит благодаря тому, что в кристаллической решетке мышьяка нет молекул As_4 , из которых состоит пар, и в эффузионной камере не устанавливается равновесное давление пара.

В табл. 1 даны точки кипения мышьяка (°K) при различных давлениях (мм. рт. ст.) [8].

Таблица 3.

Молекула пара	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
As_4	342	359	377	397	420	445	474
As_2	492	515	545	578	613	649	686
As	747	779	812	846	881	937	1012
Молекула пара	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	100	760
As_4	507	546	590	644	710	792	885
As_2	722	758	793	827	860	905	950
As	1110	1246	1440	1696	1970	2222	2392

Мышьяк как яд

Мышьяк знаком человечеству с давних времен. Так как он встречается в оловянных рудах в литературе средних веков описывали случаи смерти людей, которые выпивали содержимое из оловянных сосудов.

Мышьяк может провоцировать развитие рака кожи. Повышенный уровень загрязнения мышьяком и его соединениями регистрируется в городах вблизи медеплавильных производств на Урале.

Алхимическим символом мышьяка служило изображение извивающейся змеи с раскрытой пастью [рис.1], всё это было по причине его ядовитости [10].

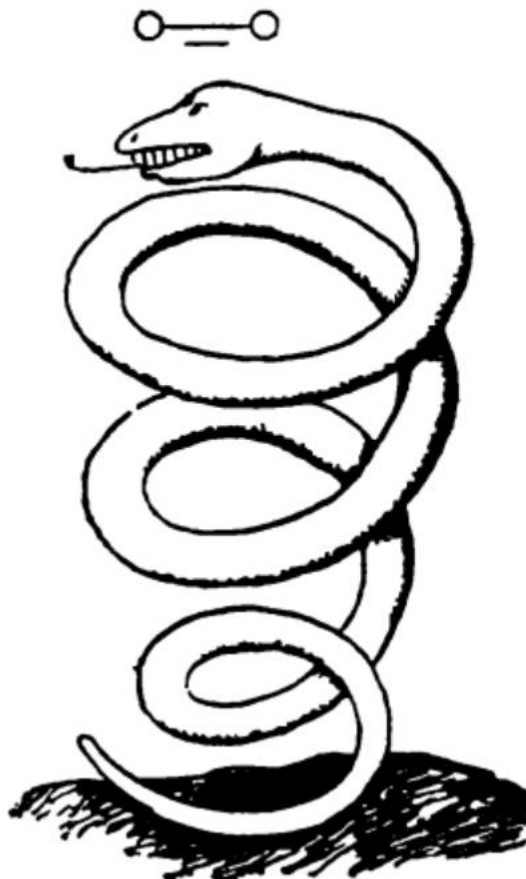


Рис.1. Змея – алхимический символ мышьяка

Для смертельного отравления мышьяком человеку достаточно вдохнуть один раз газообразный мышьяковистый водород или проглотить щепотку его оксида.

Об этом элементе как о яде знает почти каждый человек. Почему мышьяк получил такую популярность? Все это из-за того, что он не имеет ни вкуса, ни запаха.

Мышьяк очень двойственный элемент, ведь он сам достаточно инертен, а некоторые его соединения и вовсе не смертельны для нас. Он используется как яд, но в тоже время входит в состав лекарств.

Токсичность зависит от нескольких факторов:

1. Скорость и пути распределения в тканях.
2. Строение соединения.
3. Растворимость.
4. Метаболизм животного и др.

А.Л. Ривес писал о других 11-ти элементах, которые имеют пороговые дозы ниже, чем мышьяк: Be, Cd, Cu, Ag, W, Co, Hg, Te, In, Se, Tl [3].

Считают, что As (+3) более опасен, чем As (+5). Это обусловлено тем, что они имеют разное токсическое действие: As (+3) блокирует SH-группы ферментов, As (+5) влияет на процессы окислительного фосфорилирования.

Биологическая роль мышьяка

Многие заблуждаются, считая мышьяк ненужным элементом для нашего организма. Для начала, он необходим для более полного усвоения фосфора и азота. Мышьяк улучшает обмен веществ и кроветворение. Он является активатором ферментов и действует как заместитель фосфата. Еще

«arsenicum», попадая в организм, взаимодействует с кислотами и тиоловыми группами в белках.

Соединения мышьяка стали первыми синтетическими лекарственными препаратами, соответственно, положили начало химиотерапии.

Китайская медицина использовала мышьяк как оружие против псориаза и сифилиса на протяжении нескольких тысяч лет.

Рост костей в толщину и длину обуславливается применением мышьяка в малых дозировках для растущего организма человека или животного.

Таким образом, мышьяк является жизненно важным элементом, суточная доза которого для человека составляет примерно 12 мкг.

Мышьяк имеет большую биологическую роль.

Действие яда

Отмечается, что многие разновидности рыб показывают высокую устойчивость к мышьяку содержащим соединениям. Следовательно, для водных организмов мышьяк является менее токсичным, чем, например, кадмий.

Все это благодаря тому, что в морской воде происходят окислительно-восстановительные реакции, в которых соединения мышьяка принимают участие.

В мире существует множество мышьяков содержащих веществ, каждое из них имеет собственные свойства [2].

Арсенаты

Арсенаты таких металлов как: кальций и калий токсичны для насекомых, при этом их дозы до-

вольно велики. По отношению к животным арсенаты металлов являются менее токсичными, чем арсениды.

Арсениды

Соли металлов натрия и калия хорошо растворимы в воде. Токсичность зависит от того, в каком виде вводится вещество: если арсенит натрия добавить в питьевую воду, то острое отравление и смерть животного наступят через несколько часов. Летальная доза этой соли составляет 150-200 мг/кг.

Оксид мышьяка (III)

As_2O_3 – хорошо растворимое вещество, точка кипения 460- 500°C. Существует в нескольких модификациях. Белый мышьяк является основным отходом цветной металлургии. Это наиболее известный яд, его токсичность исследовали подробно. Он малорастворим в воде, поэтому форма вводимого препарата оказывает значительное влияние на результаты.

Для человека летальная доза при пероральном введении значительно больше, чем для животных. Триоксид мышьяка не обладает мутагенными и канцерогенными свойствами.

Арсин

Это вещество, пожалуй, самый высокотоксичный промышленный газ. В 1775 году его открыл Шееле, а токсические свойства были обнаружены спустя 40 лет.

Он отличается от других соединений мышьяка своими токсическими свойствами:

- Вызывает гемолиз красных кровяных клеток
- Образовывает метгемоглобин

Летальная доза мышьяковистого водорода для человека – 5000 мг/м³.

Другие соединения

Галогенарсины оказывают кожно-нарывное и раздражающее действие. Они относятся к боевым отравляющим веществам.

Ароматические соединения мышьяка обладают кожно-нарывным действием.

Скорости проникновения соединений мышьяка в ткани различаются. Они распределяются по всем органам, большая их концентрация в почках и печени, меньшая – в мозге. Это связано с малой скоростью проникновения мышьяка в нервную ткань.

В основном, мышьяк выводится через почки, так же выход происходит через волосы, ногти, легкие, роговые ткани, с потом.

Использование мышьяка как яд в истории

В 1384 году наваррский герцог Карл дал своему менестрелю такую инструкцию: «Иди в Париж. Ты сможешь сослужить великую службу. Ты сделаешь так. Есть одна вещь, которая называется мышьяком. Ты его найдешь в Бордо, в Байоне и во многих других городах, через которые проедешь, в лавках аптекарей.

И когда ты будешь в доме короля... бросай этот порошок в овощи, мясо и вина, если сможешь сделать это без опасности для себя.» [9].

Таинственные яды, которые не оставляют улик и действуют безотказно. Еще в средневековье при

помощи мышьяка разрешались любовные треугольники, устранялись политические противники. Он стал знаменитым ядом благодаря его очень интересному свойству: любое отравление им не оставляет следов в теле человека (в трупном материале его можно обнаружить через несколько лет после наступления летального исхода), мышьяк не имеет ни вкуса, ни запаха, поэтому отравители подмешивали мышьяк в пищу жертвы, после чего наступала мучительная смерть.

Мышьяк поражает сразу несколько функциональных систем организма, это является мучительным процессом для жертвы.

При остром отравлении соединениями мышьяка они накапливаются в основном в паренхиматозных органах (печень, селезенка, эндокринные и экзокринные железы, головной мозг и другие), а при хронических отравлениях – в костях и ороговевших тканях (покрытия кожи, ногти, волосы и др.).

После того, как жертва примет яд, она теряет аппетит, слабеет и погибает.

На протяжении целой эпохи люди неосознанно травили себя мышьяком так как он содержался в книгах, в одежде и в других предметах. Все это из-за того, что аристократы тех времен очень любили глубокий зелёный цвет, который получали при помощи соединений мышьяка с медью. После чего этой краской покрывали множество вещей и писали разные картины, которые до сих пор хранятся в музеях мира.

Противоядие

При отравлении мышьяком следует принять водный раствор тиосульфата натрия, промыть желудок, принять молоко и творог; существует и специфическое противоядие – унитиол. Казеин молока образует с мышьяком нерастворимое соединение, тем самым снижает поступление мышьяка в кровеносную систему. Тиосульфат натрия при взаимодействии с мышьяком образует неядовитые сульфиды.

Содержание мышьяка в организме человека

В организме человека мышьяк содержится примерно в таком же количестве, что и марганец, олово, йод; даже превышает количество некоторых элементов: кобальта, молибдена, хрома. В теле человека присутствует от 14 до 21 мг.

Нет точных цифр о содержании мышьяка в различных органах человека, но известно, что в головном мозге находится низкое количество этого вещества, а волосах, ногтях, коже и мышцах – высокое.

Это объясняется тем, что волосные и роговые образования не принимают активного участия в общем обмене веществ, т.е. возможна непосредственно пассивная адсорбция мышьяка из окружающей среды этими пограничными структурами. Обмен веществ является одним из путей выведения этого токсического вещества.

Содержание мышьяка в моче человека составляет от 30 до 50 мкг/л. Эти данные используют для оценки токсического воздействия соединений мышьяка на организм.

Источники мышьяка

Морские представители содержат намного большее количество мышьяка, чем пресноводные. Отдельные виды рыб имеют очень высокое содержание мышьяка, это определяется районом обитания и условиями существования, например, сом может содержать до 25 мг/кг сухой массы [1].

Мышьяк содержится в молочных продуктах, куриных яйцах, баранине, говядине, свинине. В овощных, зерновых и растительных культурах мышьяк так же присутствует. Он содержится даже в какао, чае, кофе, вине и во многих других продуктах питания и напитках. В табл. 2 расписано содержание мышьяка в продуктах животного происхождения.

Таблица 2.

Продукт	As, мкг/кг влажной массы		Источник
	Минимальное	Максимальное	
Творог	0,03	0,15	[11]
Сыр	0,003	0,03	[12]
Яйцо куриное	0,03	1,41	[11]
Масло	0,01	0,02	[12]
Баранина (мясо)	0,05	0,8	[11]
Говядина (мясо)	0,12	0,65	[11]
Свинина (мясо)	0,1	0,53	[11]

Вывод

Мышьяк присутствует в тканях человека и животных, являясь неотъемлемой составляющей живых организмов. Известно, что он имеет благотворное влияние на укрепление костей, увеличение массы тела человека, обмен веществ, кроветворение, скорость роста тканей, рост волос и чистоту кожи.

Обладает свойствами как яда, так и жизненно важного микроэлемента, зависит от периода и дозы потребления мышьяка.

Химическое взаимодействие мышьяка с другими микроэлементами в живых организмах мало изучено, но достаточно известна взаимосвязь с селеном и йодом. Таким образом, токсичность селенидов снижается в присутствии мышьяка, а потребность в йоде увеличивается. Это обусловлено тем, что мышьяк способствует выведению селена из организма с желчью.

По данным [4] суточная доза мышьяка для организма человека должна составлять 10-15 мкг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Н.И. Копылов, Ю.Д. Каминский/ мышьяк/2004.
2. В.С. Гамаюрова/ мышьяк в экологии и биологии/1993.
3. Reeves A.L./ Health effects of occupational lead and arsenic exposure/1975.
4. Nieisen F.H./Bull.N.Y. Acad. Med./1984.
5. Рцхиладзе В. Г./ Мышьяк/ 1969.
6. Заозерский Р.В./ Неорганическая химия/ 1963.
7. Brewer L., Kune I./ Phys. Chem./ 1955.
8. Несмеянов А.Н. / Давление пара химических элементов/ 1961.
9. Ю.В. Ходаков/ Неорганическая химия/ 1972.
10. Г.Н. Фадеев/ Пятая вертикаль периодической системы/ 1973.
11. Коломийцева М.Г., Габович Р.Д./ Микроэлементы в медицине/ 1970.
12. Arnold W./ Offen. Gesundheitswesen/ 1987.

MATHEMATICAL SCIENCES

PROOF OF FERMAT'S GREAT THEOREM

Drapezo V.

mechanical engineer, design engineer, for 30 years headed the mathematical calculations sector at MKTEI of the automotive industry (Minsk Design and Technological Experimental Institute of the Automotive Industry of the USSR). Born 22.03 137, in 1959 he graduated from BPI (Belarusian Polytechnic Institute) and two-year courses "Mathematics to Engineer" at the Belarusian University. Pensioner

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ВЕЛИКОЙ ТЕОРЕМЫ ФЕРМА

Драпезо В.Д.

инженер-механик, инженер-конструктор, 30 лет заведовал сектором математических расчетов в МКТЭИ автопрома (Минский Конструкторско-Технологический Экспериментальный Институт автомобильной промышленности СССР). Родился 22.03.1937г., в 1959 г. окончил БПИ (Белорусский политехнический институт) и двухгодичные курсы «Математика инженеру» при Белорусском университете.

Пенсионер

DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-11-19](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-11-19)

Abstract

The article presents tables of the values of the function $y = x^n$ of several abscissa values x for the indicator $n = 2, 3, 4, 5$ and 6, differences between their neighboring members, as well as subsequent differences. All the resulting tables end in arithmetic progressions with a difference of $d = n!$ The functional dependencies of these differences are defined.

The curve line of the power function $y = x^n$ is replaced by a "ladder" with horizontal "steps." Then the terms of the main sequence are ordinates of steps $y_x = x^n$, and the difference in ordinates of neighboring steps is the height of steps $h_x = y_x - y_{x-1}$. The function of height differences of "steps" (height difference of "steps") is determined for any indicator n $\Delta h_{x+1} = f(x)$, which is assigned a significant role in the formation of the height of steps and their ordinates, as well as in the definition when the Diophantine equation $x^n + y^n = z^n$ for integers positive x, y, z is not solved.

Аннотация

В статье приведены таблицы значений функции $y = x^n$ нескольких значений абсциссы x для показателя $n = 2, 3, 4, 5$ и 6, разностей между их соседними членами, а так же последующих разностей. Все полученные таблицы заканчиваются арифметическими прогрессиями с разностью $d = n!$ Определены функциональные зависимости этих разностей.

Кривая линия степенной функции $y = x^n$ заменена «лестницей» с горизонтальными «ступеньками». Тогда члены основной последовательности представляют собой ординаты ступенек $y_x = x^n$, а разница ординат соседних ступенек – высоту ступенек $h_x = y_x - y_{x-1}$. Определена функция разностей высот «ступенек» (перепад высоты «ступенек») для любого показателя n $\Delta h_{x+1} = f(x)$, которой отведена существенная роль в образовании высоты ступенек и их ординат, а так же в определении, когда не имеет решения диофантово уравнение $x^n + y^n = z^n$ для целых положительных чисел x, y, z .

Keywords: The great theorem Fermat, Step height differences, Proof of the Fermat theorem in general form.

Ключевые слова: Великая теорема Ферма, Перепады «высоты ступенек», Доказательство теоремы Ферма в общем виде.

Утверждение П. Ферма о том, что диофантово уравнение

$$x^n + y^n = z^n, \quad (1)$$

где n - целое положительное число, больше 2, не имеет решений в целых положительных числах, называется Великой теоремой Ферма.

Великую теорему Ферма в общем виде для любого $n > 2$ доказал британский математик Эндрю Уайлс. Доказательство одобрено математическим сообществом.

В данной статье представлен совершенно другой способ доказательства Великой теоремы Ферма в общем виде для любых $n > 2$ с использованием удивительных свойств последовательностей положительных чисел всех функций x^n .

Очевидно, это и есть то доказательство Ферма, про которое он написал на полях книги

Диофанта против задачи №8. «Разделить ... вообще какую-либо степень выше второй на две степени с тем же обозначением невозможно, и нашел доказательство этого, однако поля слишком узки, чтобы поместить его» (см. Список литературы п.1, стр.140), но, к великому сожалению, нигде его не опубликовал.

Рассмотрим равносильное уравнение

$$z^n - y^n = x^n \quad (2)$$

и будем искать одинаковые значения элементов функции x^n не в сумме, а в разнице между какими-нибудь ее членами.

Проанализируем как ведут себя последовательности целых чисел функции $y=x^n$.

При $n=1$ ординаты точек натурального ряда чисел лежат на прямой линии (см. Рис.1).

При очередном показателе n значение ординаты каждого числа x в x раз больше, т.е. все кривые x^n строятся по одному правилу (см. Рис.1).

В связи с тем, что мы будем рассматривать только последовательности целых чисел, то можно исключить участки кривых между ординатами то-

чек и рассматривать только «ступеньки» с горизонтальными участками ординаты, в результате чего получается «лестница» (см. Рис.2). Тогда высота каждой ступеньки и будет разницей между соседними членами основной последовательности.

Для анализа членов основной последовательности функций $y=x^n$, а также последовательности разницы ее членов $h_x = y_x - y_{x-1}$ и последующих разниц найдем значение функций членов этих последовательностей и составим числовые таблицы для нескольких их начальных членов (см. Таблицы 1,2,3,4,5).

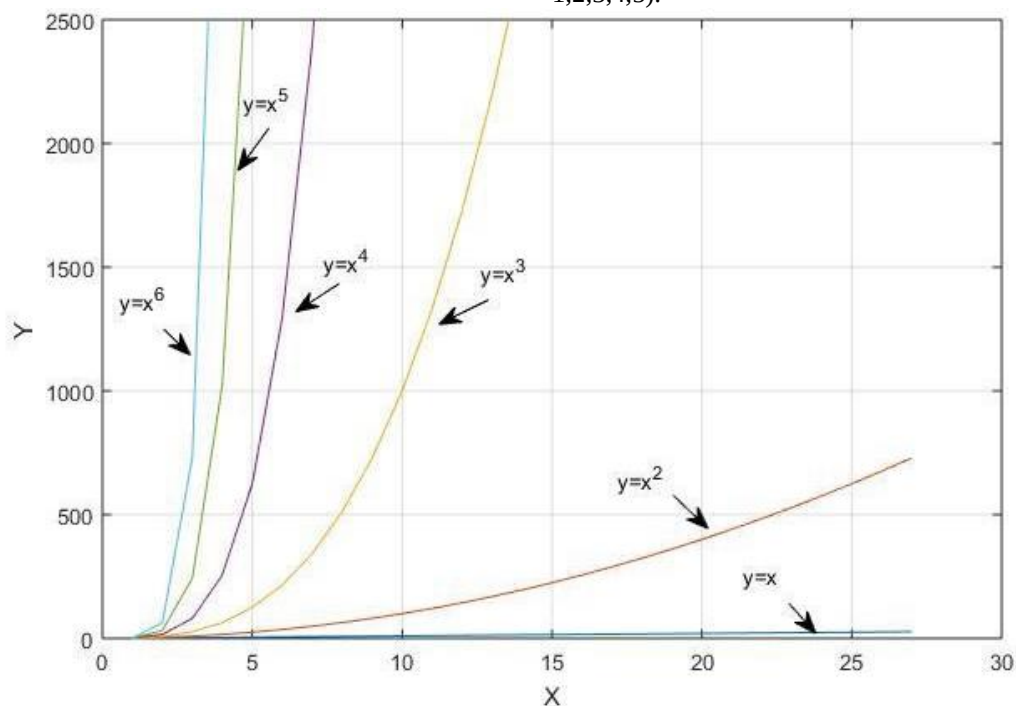


Рис. 1

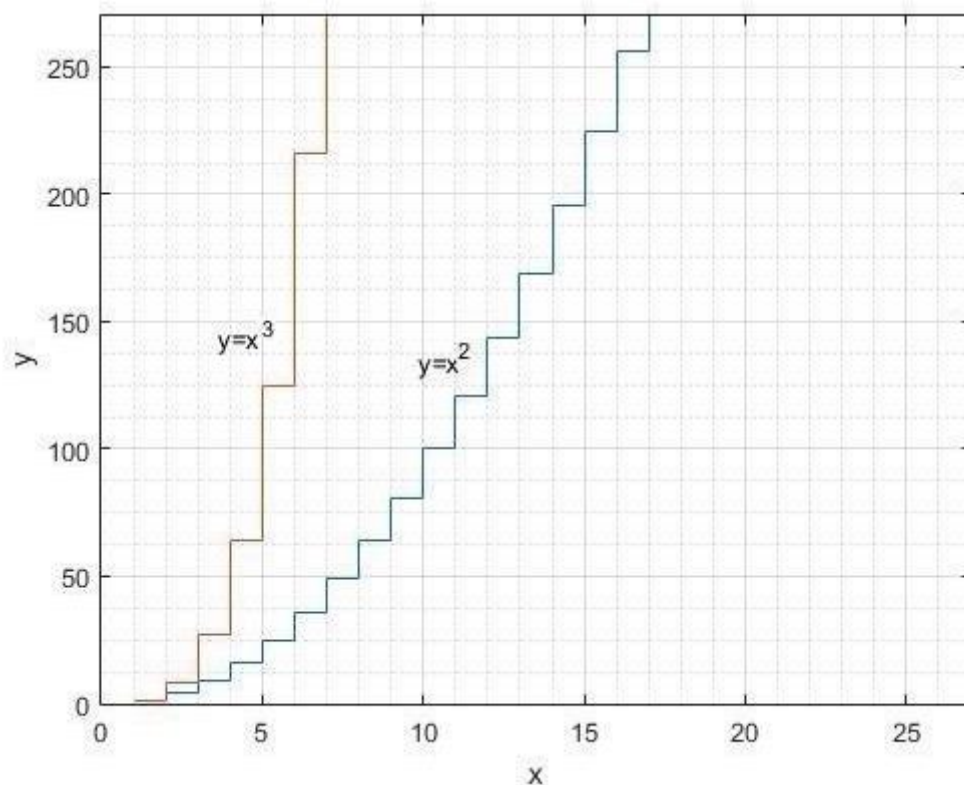


Рис.2

Рассмотрим функцию $y = x^2$.

Последовательность целых чисел $y_i = x^2$ представляет собой ординаты i -ой точки абсциссы, т.е. расстояние от нулевой линии $y = 0$ до плоскости i -ой «ступеньки», и так как мы решили рассматривать только целые числа $x = i$, то будем считать, что $y_x = x^2$.

Ордината следующей «ступеньки»:

$$y_{x+1} = (x+1)^2 = x^2 + 2x + 1$$

Высота следующей «ступеньки» равна разнице ее ординаты и ординаты нижней «ступеньки»:

$$h_{x+1} = y_{x+1} - y_x = 2x + 1$$

Высота нижней «ступеньки»:

$$h_x = 2(x-1) + 1 = 2x - 1$$

Разница высот двух соседних ступенек (перепад):

$$\Delta h_{x+1} = h_{x+1} - h_x = 2,$$

т.е. получается, что последовательность высот «ступенек» представляет собой арифметическую прогрессию с разностью $d = 2$.

Значения функций разностей членов последовательности $y_i = x^3$.

Ордината i -ой «ступеньки»:

$$y_x = x^3$$

Ордината следующей «ступеньки»:

$$y_{x+1} = (x+1)^3 = x^3 + 3x^2 + 3x + 1$$

Высота следующей «ступеньки»:

$$h_{x+1} = y_{x+1} - y_x = 3x^2 + 3x + 1$$

Высота нижней «ступеньки»:

$$h_x = 3(x-1)^2 + 3(x-1) + 1 = 3x^2 - 3x + 1$$

Разница высот (перепад) верхней и нижней ступенек:

$$\Delta h_{x+1} = h_{x+1} - h_x = 6x,$$

где x – абсцисса нижней «ступеньки».

Изменение разницы высот двух соседних ступенек

$$\Delta 1_{x+1} = \Delta h_{x+1} - \Delta h_x = 6x - 6(x-1) = 6,$$

т.е. получается, что последовательность перепадов высот «ступенек» представляет собой арифметическую прогрессию с разностью $d = 6$.

Значения функций разностей членов последовательности $y = x^4$.

$$y_x = x^4$$

$$y_{x+1} = (x+1)^4 = x^4 + 4x^3 + 6x^2 + 4x + 1$$

$$h_{x+1} = y_{x+1} - y_x = 4x^3 + 6x^2 + 4x + 1$$

$$h_x = 4(x-1)^3 + 6(x-1)^2 + 4(x-1) + 1 = 4x^3 - 6x^2 + 4x - 1$$

$$\Delta h_{x+1} = h_{x+1} - h_x = 12x^2 + 2$$

$$y_{x+1} = (x+1)^n = \left[x^n + nx^{n-1} + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} x^{n-2} + \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} x^{n-3} + \dots + 1 \right] \quad (3)$$

где n – целые положительные числа.

Тогда первый член формулы (3) – это ордината нижней точки

$$y_x = x^n$$

$$y_{x+1} - y_x = h_{x+1} = nx^{n-1} + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} x^{n-2} + \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} x^{n-3} + \dots + 1 \quad (4)$$

И здесь обнаружена следующая закономерность: высота нижней «ступеньки» имеет те же члены, что и верхней, но перед членами, стоящими

$$\Delta h_{x+1} = 2 \left[\frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} x^{n-2} + \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} x^{n-4} + \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)(n-5)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} x^{n-6} + \dots + R \right] \quad (5),$$

где $R = 0$ при n нечетном

$$\Delta h_x = 12(x-1)^2 + 2$$

$$\Delta 1_{x+1} = \Delta h_{x+1} - \Delta h_x = 12x^2 + 2 - [12(x-1)^2 + 2] = 24x - 12$$

$$\Delta 1_x = 24(x-1) - 12$$

$$\Delta 2 = \Delta 1_{x+1} - \Delta 1_x = 24x - 12 - [24(x-1) - 12] = 24$$

Значения функций разностей членов последовательности $y = x^5$

$$y_x = x^5$$

$$y_{x+1} = (x+1)^5 = x^5 + 5x^4 + 10x^3 + 10x^2 + 5x + 1$$

$$h_{x+1} = y_{x+1} - y_x = 5x^4 + 10x^3 + 10x^2 + 5x + 1$$

$$h_x = 5(x-1)^4 + 10(x-1)^3 + 10(x-1)^2 + 5(x-1) + 1 = 5x^4 - 10x^3 + 10x^2 - 5x + 1$$

$$\Delta h_{x+1} = h_{x+1} - h_x = 20x^3 + 10x$$

$$\Delta h_x = 20(x-1)^3 + 10(x-1)$$

$$\Delta 1_{x+1} = \Delta h_{x+1} - \Delta h_x = 20x^3 + 10x - [20(x-1)^3 + 10(x-1)] = 60x^2 - 60x + 30$$

$$\Delta 1_x = 60(x-1)^2 - 60(x-1) + 30$$

$$\Delta 2_{x+1} = \Delta 1_{x+1} - \Delta 1_x = 120x - 120$$

$$\Delta 2_x = 120(x-1) + 120 = 120x - 240$$

$$\Delta 3 = \Delta 2_{x+1} - \Delta 2_x = 120$$

Значения функций разностей членов последовательности $y = x^6$

$$y_x = x^6$$

$$y_{x+1} = (x+1)^6 = x^6 + 6x^5 + 15x^4 + 10x^3 + 20x^2 + 15x^2 + 6x + 1$$

$$h_{x+1} = y_{x+1} - y_x = 6x^5 + 15x^4 + 20x^3 + 15x^2 + 6x + 1$$

$$h_x = 6(x-1)^5 + 15(x-1)^4 + 20(x-1)^3 + 15(x-1)^2 + 6(x-1) + 1 = 6x^5 - 15x^4 + 20x^3 - 15x^2 + 6x - 1$$

$$\Delta h_{x+1} = h_{x+1} - h_x = 30x^4 + 30x^2 + 2$$

$$\Delta h_x = 30(x-1)^4 + 30(x-1)^2 + 2$$

$$\Delta 1_{x+1} = \Delta h_{x+1} - \Delta h_x = 120x^3 - 180x^2 + 180x - 60$$

$$\Delta 1_x = 120(x-1)^3 - 180(x-1)^2 + 180(x-1) - 60$$

$$\Delta 2_{x+1} = \Delta 1_{x+1} - \Delta 1_x = 360x^2 - 720x + 480$$

$$\Delta 2_x = 360(x-1)^2 - 720(x-1) + 480$$

$$\Delta 3_{x+1} = \Delta 2_{x+1} - \Delta 2_x = 720x - 1080$$

$$\Delta 3_x = 720(x-1) - 1080$$

$$\Delta 4 = \Delta 3_{x+1} - \Delta 3_x = 720$$

Составленные числовые таблицы (1,2,3,4,5) последовательностей членов $y = x^n$ и разностей между соседними членами, а так же очередных разностей, наглядно показывают, что они заканчиваются арифметическими прогрессиями с разностью $d = 1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n = n!$

Так как абсциссы каждой соседней точки последовательности растут на единицу, то для анализа функций членов последовательности используем бином Ньютона:

Остальные члены формулы (3) представляют собой разницу ординат соседних точек, т.е. высоту следующей «ступеньки».

на четных местах, появился знак минус. Тогда функция перепадов «ступенек» выражается формулой

	$R = 1$ при четном n
При $n = 1$	$\Delta h_{x+1} = 0$
$n = 2$	$\Delta h_{x+1} = 2$
$n = 3$	$\Delta h_{x+1} = 6x$
$n = 4$	$\Delta h_{x+1} = 12x^2 + 2$
$n = 5$	$\Delta h_{x+1} = 20x^3 + 10x = 10x(2x^2 + 1)$
$n = 6$	$\Delta h_{x+1} = 30x^4 + 30x^2 + 2 = 30x^2(x^2 + 1) + 2$

Для более тщательного анализа членов последовательностей $y = x^2$ и $y = x^3$ построим таблицы образования их каждого члена.

Первый член последовательностей ординаты и высоты «ступеньки» для всех n равен единице.

Высота следующей «ступеньки» равна высоте предыдущей «ступеньки» плюс значение перепада высоты следующей «ступеньки».

Ордината следующей «ступеньки» равна ординате предыдущей «ступеньки» плюс высота следующей, т.е. равна сумме членов последовательности высоты ступенек (см. Таблицы 6 и 7 и Схемы 1 и 2).

В Таблице 6 (составленной для функции $y = x^2$) представлено образование высоты h_x и ординаты y_x каждой «ступеньки».

Основным элементом образования высоты ступенек является перепад высоты «ступенек» $\Delta h = 2$ и первая «ступенька» (цифра 1). Каждая следующая «ступенька» увеличивается на значение перепада (на 2). Поэтому последовательность высоты «ступенек» состоит из суммы единицы и двоек с коэффициентами натурального ряда чисел.

Последовательность ординат «ступенек» y_x состоит из суммы двоек с коэффициентами, представляющих собой сумму перепадов всех «ступенек», включая и образующую, и сумму единиц от каждой «ступеньки» (образуя натуральный ряд чисел). Преобразовав этот ряд в двойки с остатком, получилось, что последовательность ординат «ступенек» y_x состоит из суммы двоек с измененными коэффициентами и остатками 0 или 1. И тогда все нечетные числа последовательности y_x имеют остаток 1, значит все они имеются в последовательности высоты ступенек h_x при любом числе двоек. В этом случае в решении уравнения (2) задействована одна «ступенька».

$$h_n = S_n + 1 = + \frac{a_1 + a_n}{2} \cdot n + 1 = \frac{a_1 + a_1 + d(n-1)}{2} \cdot n + 1 = \frac{0 + 0 + d(n-1)}{2} \cdot n + 1 = \frac{6(x-1) \cdot x}{2} + 1,$$

где $a_1 = 0$ – первый член последовательности перепадов,

$d = 6$ – разность членов арифметической прогрессии перепадов,

$n = x$

Например, число 9 в основной последовательности стоит на абсциссе 3, в последовательности высоты «ступенек» стоит на абсциссе 5, это дает решение уравнения (2) в следующем виде: $5^2 - 4^2 = 3^2$

Число 25 (5^2) в последовательности h_x стоит против абсциссы 13. Значит $13^2 - 12^2 = 5^2$ и т.д.

Четные числа образуют остаток ноль. В основной последовательности, значит решение уравнения (2) надо находить в сумме двух «ступенек».

Например число 36 ($2 \cdot 18 + 0$) в последовательности x^2 стоит на абсциссе $x = 6$. Большая ступенька представляет собой число $2 \cdot \frac{18}{2} + 1 = 2 \cdot 9 + 1$ стоит в последовательности

h_x против абсциссы $x = 10$. Значит решение уравнения (2) имеет вид:

$$10^2 - 8^2 = 6^2$$

В общем решении уравнения (2) и соответственно (1) в последовательности чисел $y = x^2$ очень много, если учесть, что кратные значения найденным числам тоже являются решением.

В таблице 7 (составленной для функции $y = x^3$) представлено образование последовательностей высоты h_x и ординаты y_x каждой «ступеньки».

Первая «ступенька» имеет высоту и ординату равную единице (остается одинаковым для всех $y = x^n$).

Высота каждой следующей «ступеньки» увеличивается на величину перепада

$$\Delta h_{x+1} = 6x,$$

последовательность которых представляет собой арифметическую прогрессию с разностью $d = 6$ и первым членом $a_1 = 0$. Тогда высота n -ой «ступеньки» будет равна сумме n членов арифметической прогрессии перепадов плюс первый член последовательности высоты ступенек

Из таблицы видно, что высота каждой «ступеньки» состоит из единицы и определённого количества чисел 6 ($k_x = \frac{x(x-1)}{2}$), последовательность которых представляет не натуральный ряд целых чисел (как это имеет место для функций $y = x^2$ для чисел 2), а последовательность суммы членов натурального ряда чисел. Здесь уже после каждого

члена k_x число пропущенных членов натурального ряда чисел представляет собой последовательность натурального ряда чисел.

Последовательность ординат «ступенек» представляет собой последовательность суммы членов последовательности высоты «ступенек», каждый член которой состоит из определённого количества чисел 6 и чисел натурального ряда, образованного от суммы первого члена в каждой «ступеньке» числа натурального ряда, преобразованные в число шестерок и остаток, в сумме с основными числами последовательности ординат образуют числа с определённым количеством чисел 6 и остатками 0,1,2,3,4,5.

С остатком 1 проверяем нахождение одинаковых чисел в последовательностях ординат (y_x) и высот (h_x).

С остатками 2,3,4,5 и 0 проверяем нахождение значений суммы высот двух, трех, четырех, пяти и шести рядом стоящих «ступенек» с ординатой y_x .

Решений уравнения (2) и соответственно уравнения (1) не выявлено.

Эйлер, анализируя члены последовательностей функций $y = x^3$, $y = x^4$ и разности ее членов, доказав теорему Ферма для показателей $n = 3$ и $n = 4$, фактически дал доказательство тому, что если перепады высоты «ступенек», которым отведена существенная роль в образовании высоты и ординаты «ступенек» есть величина переменная (представляющую собой арифметическую прогрессию или очередную сумму ее членов), то это исключает решение уравнения (1).

Для всех $n > 2$ перепады высоты «ступенек» функций $y = x^n$ - есть величина переменная и выражается формулой (5), представляющую собой арифметическую прогрессию (для $n = 3$) или очередную ($n - 3$) сумму ее членов для ($n > 3$), и поэтому нет решений уравнения (1) в этих случаях

Приложение

Таблица 1

x_i	-2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7
$y_i = x_i^2$	4 1 0 1 4 9 16 25 36 49
$h_i = y_i - y_{i-1}$	-5 -3 -1 1 3 5 7 9 11 13 15
$\Delta h_i = h_i - h_{i-1}$	2 2 2 2 2 2 2 2 2

x_i	7 8 9 10 11 12 13 14
$y_i = x_i^2$	49 64 81 100 121 144 169 196
h_i	13 15 17 19 21 23 25 27 29
Δh_i	2 2 2 2 2 2 2 2 2

x_i	14 15 16 17 18 19 20 21
$y_i = x_i^2$	196 225 256 289 324 361 400 441
h_i	27 29 31 33 35 37 39 41 43
Δh_i	2 2 2 2 2 2 2 2 2

x_i	21 22 23 24 25 26 27 28
$y_i = x_i^2$	441 484 529 576 625 676 729 784
h_i	41 43 45 47 49 51 53 55
Δh_i	2 2 2 2 2 2 2 2

Таблица 2

x_i	-2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7
$y_i = x_i^3$	-8 -1 0 1 8 27 64 125 216 343
$h_i = y_i - y_{i-1}$	19 7 1 1 7 19 37 61 91 127 169
$\Delta h_i = h_i - h_{i-1}$	-12 -6 0 6 12 18 24 30 36 42
$\Delta 1$	6 6 6 6 6 6 6 6 6

x_i	7 8 9 10 11 12 13 14
$y_i = x_i^3$	343 512 729 1000 1331 1728 2197 2744
h_i	127 169 217 271 331 397 469 547 631
Δh_i	42 48 54 60 66 72 78 84
$\Delta 1$	6 6 6 6 6 6 6 6

x_i	14 15 16 17 18 19 20 21
$y_i = x_i^3$	2744 3375 4096 4913 5832 6859 8000 9261
h_i	547 631 721 817 919 1027 1141 1261 1387
Δh_i	84 90 96 102 108 114 120 126
$\Delta 1$	6 6 6 6 6 6 6 6

x_i	21 22 23 24 25 26 27 28
$y_i = x^3$	9261 10648 12167 13824 15625 17576 19863 21952
h_i	1261 1987 1519 1657 1801 1951 2107 2269
Δh_i	126 132 138 144 150 156 162
$\Delta 1$	6 6 6 6 6 6 6

Таблица 3

x_i	-2 -1 0 1 2 3 4 5
$y_i = x^4$	16 1 0 1 16 81 256 625
$h_i = y_i - y_{i-1}$	-65 -15 -1 1 15 65 175 369 671
$\Delta h_i = h_i - h_{i-1}$	50 14 2 14 50 110 194 302
$\Delta 1$	-60 -36 -12 12 36 60 84 108 132
$\Delta 2$	24 24 24 24 24 24 24 24

x_i	5 6 7 8 9 10
$y_i = x^4$	625 1296 2401 4096 6561 10000
h_i	369 671 1105 1695 2465 3439 4611
Δh_i	302 434 590 770 974 1202
$\Delta 1$	108 132 156 180 204 228 252
$\Delta 2$	24 24 24 24 24

x_i	10 11 12 13 14 15
$y_i = x^4$	1000 14641 20736 28561 38416 50625
h_i	3430 4641 6095 7825 9855 12209
Δh_i	1202 1454 1730 2030 2354
$\Delta 1$	228 252 276 300 324
$\Delta 2$	24 24 24 24

Таблица 4

x_i	-2 -1 0 1 2 3 4 5
$y_i = x^5$	-32 -1 0 1 32 243 1024 3125
$h_i = y_i - y_{i-1}$	211 31 1 1 31 211 781 2101 4651
$\Delta h_i = h_i - h_{i-1}$	-180 -30 0 30 180 570 1320 2550
$\Delta 1$	390 150 30 30 150 390 750 1230 1830
$\Delta 2$	-240 -120 0 120 240 360 480 600
$\Delta 3$	120 120 120 120 120 120 120 120

x_i	5 6 7 8 9 10
$y_i = x^5$	3125 7776 16807 32768 59049 100000
h_i	2101 4651 9031 15961 26281 40951 61051
Δh_i	2550 4380 6930 10320 14670 20100
$\Delta 1$	1230 1830 2550 3390 4350 5430 6630
$\Delta 2$	600 720 840 960 1080 1200
$\Delta 3$	120 120 120 120 120 120

x_i	10 11 12 13 14 15
$y_i = x^5$	100000 161051 248832 371293 537824 759375
h_i	40941 61051 87781 122461 166531 221551
Δh_i	20100 26730 34680 44070 55020
$\Delta 1$	5430 6630 7950 9390 10950
$\Delta 2$	1200 1320 1440 1560
$\Delta 3$	120 120 120 120

Таблица 5

x_i	-2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8
$y_i = x^6$	4 1 0 1 64 729 4096 15625 46656 117649 262144
h_i	-665 -63 -1 1 63 665 3367 11529 31031 70993 144495
Δh_i	602 62 2 62 602 2702 8162 19502 39962 73502
$\Delta 1$	-2100 -540 -60 60 540 2100 5460 11340 20460 33540 51300
$\Delta 2$	1560 480 120 480 1560 3960 5880 9120 13080 17760
$\Delta 3$	-1800 -1080 -360 360 1080 1800 2520 3270 3960 4680 5400
$\Delta 4$	720 720 720 720 720 720 720 720 720

x_i	9 10 11 12 13
$y_i = x^6$	531441 1000000 1771561 2985984 4826809
h_i	262144 468559 771561 1214423 1840825
Δh_i	199262 303002 442862 626402
$\Delta 1$	74460 103740 139860 193540
$\Delta 2$	29280 36120 43680
$\Delta 3$	6840 7560
$\Delta 4$	720

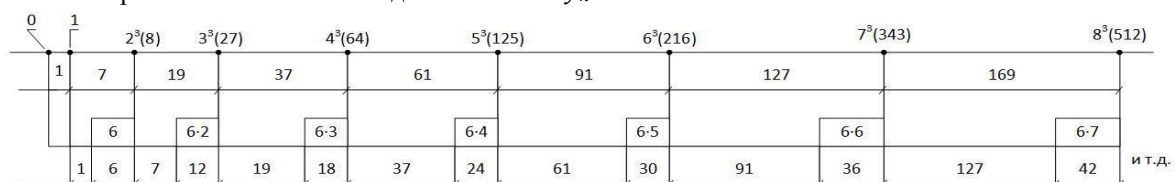
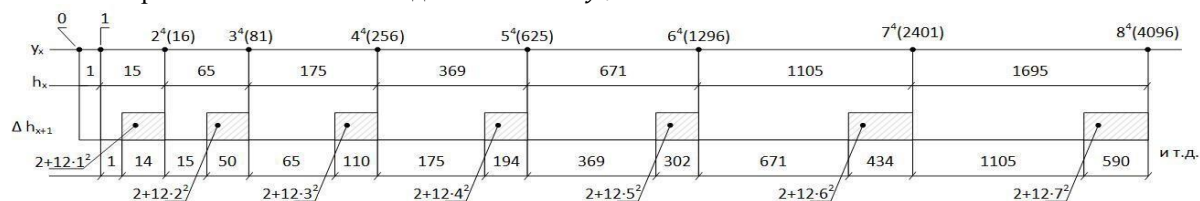
Таблица 6

x	$hx = hx-1 + \Delta hx$			$yx = x^2 = yx-1 + hx$		
0			Δh_x		0	0
1	1	1	2	1	1	1
2	$1+2 \cdot 1$	3		$2(0+1)+2=2 \cdot 1+2$	$2 \cdot 2+0$	4
3	$1+2(1+1)=1+2 \cdot 2$	5	2	$2(1+1)+3=2 \cdot 3+3$	$2 \cdot 4+1$	9
4	$1+2(2+1)=1+2 \cdot 3$	7	2	$2(3+3)+4=2 \cdot 6+4$	$2 \cdot 8+0$	16
5	$1+2(3+1)=1+2 \cdot 4$	9	2	$2(4+6)+5=2 \cdot 10+5$	$2 \cdot 12+1$	25
6	$1+2(4+1)=1+2 \cdot 5$	11	2	$2(5+10)+6=2 \cdot 15+6$	$2 \cdot 18+0$	36
7	$1+2(5+1)=1+2 \cdot 6$	13	2	$2(6+15)+7=2 \cdot 21+7$	$2 \cdot 24+1$	49
8	$1+2(6+1)=1+2 \cdot 7$	15	2	$2(7+21)+8=2 \cdot 28+8$	$2 \cdot 32+0$	64
9	$1+2(7+1)=1+2 \cdot 8$	17	2	$2(8+28)+9=2 \cdot 36+9$	$2 \cdot 40+1$	81
10	$1+2(8+1)=1+2 \cdot 9$	19	2	$2(9+36)+10=2 \cdot 45+10$	$2 \cdot 50+0$	100
11	$1+2(9+1)=1+2 \cdot 10$	21	2	$2(10+45)+11=2 \cdot 55+11$	$2 \cdot 60+1$	121
12	$1+2(10+1)=1+2 \cdot 11$	23	2	$2(11+55)+12=2 \cdot 66+12$	$2 \cdot 72+0$	144
13	$1+2(11+1)=1+2 \cdot 12$	25	2	$2(12+66)+13=2 \cdot 78+13$	$2 \cdot 84+1$	169
14	$1+2(12+1)=1+2 \cdot 13$	27	2	$2(13+78)+14=2 \cdot 91+14$	$2 \cdot 98+0$	196
15	$1+2(13+1)=1+2 \cdot 14$	29	2	$2(14+91)+15=2 \cdot 105+15$	$2 \cdot 112+1$	225
16	$1+2(14+1)=1+2 \cdot 15$	31	2	$2(15+105)+16=2 \cdot 120+16$	$2 \cdot 128+0$	256
17	$1+2(15+1)=1+2 \cdot 16$	33	2	$2(16+120)+17=2 \cdot 136+17$	$2 \cdot 144+1$	289
18	$1+2(16+1)=1+2 \cdot 17$	35	2	$2(17+136)+18=2 \cdot 153+18$	$2 \cdot 162+0$	324
19	$1+2(17+1)=1+2 \cdot 18$	37	2	$2(18+153)+19=2 \cdot 171+19$	$2 \cdot 180+1$	361
20	$1+2(18+1)=1+2 \cdot 19$	39	2	$2(19+171)+20=2 \cdot 190+20$	$2 \cdot 200+0$	400
21	$1+2(19+1)=1+2 \cdot 20$	41	2	$2(20+190)+21=2 \cdot 210+21$	$2 \cdot 220+1$	441
22	$1+2(20+1)=1+2 \cdot 21$	43	2	$2(21+210)+22=2 \cdot 231+22$	$2 \cdot 242+0$	484
23	$1+2(21+1)=1+2 \cdot 22$	45	2	$2(22+231)+23=2 \cdot 253+23$	$2 \cdot 264+1$	529
24	$1+2(22+1)=1+2 \cdot 23$	47	2	$2(23+253)+24=2 \cdot 276+24$	$2 \cdot 288+0$	576
25	$1+2(23+1)=1+2 \cdot 24$	49	2	$2(24+276)+25=2 \cdot 300+25$	$2 \cdot 312+1$	625
26	$1+2(24+1)=1+2 \cdot 25$	51	2	$2(25+300)+26=2 \cdot 325+26$	$2 \cdot 338+0$	676
27	$1+2(25+1)=1+2 \cdot 26$	53	2	$2(26+325)+27=2 \cdot 351+27$	$2 \cdot 364+1$	729
28	$1+2(26+1)=1+2 \cdot 27$	55	2	$2(27+351)+28=2 \cdot 378+28$	$2 \cdot 392+0$	784
29	$1+2(27+1)=1+2 \cdot 28$	57	2	$2(28+378)+29=2 \cdot 406+29$	$2 \cdot 420+1$	841
30	$1+2(28+1)=1+2 \cdot 29$	59	2	$2(29+406)+30=2 \cdot 435+30$	$2 \cdot 450+0$	900
31	$1+2(29+1)=1+2 \cdot 30$	61	2	$2(30+435)+31=2 \cdot 465+31$	$2 \cdot 480+1$	961
32	$1+2(30+1)=1+2 \cdot 31$	63	2	$2(31+465)+32=2 \cdot 496+32$	$2 \cdot 512+0$	1024
33	$1+2(31+1)=1+2 \cdot 32$	65	2	$2(32+496)+33=2 \cdot 528+33$	$2 \cdot 544+1$	1089

34	$1+2(32+1)=1+2\cdot33$	67	2	$2(33+528)+34=2\cdot561+34$	$2\cdot578+0$	1156
35	$1+2(33+1)=1+2\cdot34$	69	2	$2(34+561)+35=2\cdot595+35$	$2\cdot612+1$	1225
36	$1+2(34+1)=1+2\cdot35$	71	2	$2(35+595)+36=2\cdot630+36$	$2\cdot648+0$	1296
37	$1+2(35+1)=1+2\cdot36$	73	2	$2(36+630)+37=2\cdot666+37$	$2\cdot684+1$	1369
38	$1+2(36+1)=1+2\cdot37$	75	2	$2(37+666)+38=2\cdot703+38$	$2\cdot722+0$	1444
39	$1+2(37+1)=1+2\cdot38$	77	2	$2(38+703)+39=2\cdot741+39$	$2\cdot760+1$	1521
40	$1+2(38+1)=1+2\cdot39$	79	2	$2(39+741)+40=2\cdot780+40$	$2\cdot800+0$	1600
41	$1+2(39+1)=1+2\cdot40$	81	2	$2(40+780)+41=2\cdot820+41$	$2\cdot840+1$	1681
42	$1+2(40+1)=1+2\cdot41$	83	2	$2(41+820)+42=2\cdot861+42$	$2\cdot882+0$	1764
43	$1+2(41+1)=1+2\cdot42$	85	2	$2(42+861)+43=2\cdot903+43$	$2\cdot924+1$	1849
44	$1+2(42+1)=1+2\cdot43$	87	2	$2(43+903)+44=2\cdot946+44$	$2\cdot968+0$	1936
45	$1+2(43+1)=1+2\cdot44$	89	2	$2(44+946)+45=2\cdot990+45$	$2\cdot1012+1$	2025

Таблица 7

x	$hx = hx-1 + \Delta h_x$			$yx = x3 = yx-1 + hx$		
0	0 1 0	Δh_x 0 0	0			0
1	1			6·0+1		1
2	1+6·1	7	1·6	6·1+2		8
3	1+6(1+2)=1+6·3	19	2·6	6(1+3)+3=6·4+3		27
4	1+6(3+3)=1+6·6	37	3·6	6(4+6)+4=6·10+4		64
5	1+6(6+4)=1+6·10	61	4·6	6(10+10)+5=6·20+5		125
6	1+6(10+5)=1+6·15	91	5·6	6(15+20)+6=6·35+6	6·36+0	216
7	1+6(15+6)=1+6·21	127	6·6	6(21+35)+7=6·56+7	6·57+1	343
8	1+6(21+7)=1+6·28	169	7·6	6(28+56)+8=6·84+8	6·85+2	512
9	1+6(28+8)=1+6·36	217	8·6	6(36+84)+9=6·120+9	6·121+3	729
10	1+6(36+9)=1+6·45	271	9·6	6(45+120)+10=6·165+10	6·166+4	1000
11	1+6(45+10)=1+6·55	331	10·6	6(55+165)+11=6·220+11	6·221+5	1331
12	1+6(55+11)=1+6·66	397	11·6	6(66+220)+12=6·286+12	6·288+0	1728
13	1+6(66+12)=1+6·78	469	12·6	6(78+286)+13=6·364+13	6·366+1	2197
14	1+6(78+13)=1+6·91	547	13·6	6(91+364)+14=6·455+14	6·457+2	2744
15	1+6(91+14)=1+6·105	631	14·6	6(105+455)+15=6·560+15	6·562+3	3375
16	1+6(105+15)=1+6·120	721	15·6	6(120+560)+16=6·680+16	6·682+4	4096
17	1+6(120+16)=1+6·136	817	16·6	6(136+680)+17=6·816+17	6·818+5	4913
18	1+6(136+17)=1+6·153	919	17·6	6(153+816)+18=6·969+18	6·972+0	5832
19	1+6(153+18)=1+6·171	1027	18·6	6(171+969)+19=6·1140+19	6·1143+1	6859
20	1+6(171+19)=1+6·190	1141	19·6	6(190+1140)+20=6·1330+20	6·1333+2	8000
21	1+6(190+20)=1+6·210	1261	20·6	6(210+1330)+21=6·1540+21	6·1543+3	9261
22	1+6(210+21)=1+6·231	1387	21·6	6(231+1540)+22=6·1771+22	6·1774+4	10648
23	1+6(231+22)=1+6·253	1519	22·6	6(253+1771)+23=6·2024+23	6·2027+5	12167
24	1+6(253+23)=1+6·276	1657	23·6	6(276+2024)+24=6·2300+25	6·2304+0	13824
25	1+6(276+24)=1+6·300	1801	24·6	6(300+2300)+25=6·2600+25	6·2604+1	15625
26	1+6(300+25)=1+6·325	1951	25·6	6(325+2600)+26=6·2925+26	6·2929+2	17576
27	1+6(325+26)=1+6·351	2107	26·6	6(351+2925)+27=6·3276+27	6·3280+3	19683
28	1+6(351+27)=1+6·378	2269	27·6	6(378+3276)+28=6·3654+28	6·3658+4	21952
29	1+6(378+28)=1+6·406	2437	28·6	6(406+3654)+29=6·4060+29	6·4064+5	24389
30	1+6(406+29)=1+6·435	2611	29·6	6(435+4060)+30=6·4495+30	6·4500+0	27000
31	1+6(435+30)=1+6·465	2791	30·6	6(465+4495)+31=6·4960+31	6·4965+1	29791
32	1+6(465+31)=1+6·496	2977	31·6	6(496+4960)+32=6·5456+32	6·5461+2	32768
33	1+6(496+32)=1+6·528	3169	32·6	6(528+5456)+33=6·5984+33	6·5989+3	35937
34	1+6(528+33)=1+6·561	3367	33·6	6(561+5984)+34=6·6545+34	6·6550+4	39304
35	1+6(561+34)=1+6·595	3571	34·6	6(595+6545)+35=6·7140+35	6·7145+5	42875
36	1+6(595+35)=1+6·630	3781	35·6	6(630+7140)+36=6·7770+36	6·7776+0	46656
37	1+6(630+36)=1+6·666	3997	36·6	6(666+7770)+37=6·8436+37	6·8442+1	50653
38	1+6(666+37)=1+6·703	4219	37·6	6(703+8436)+38=6·9139+38	6·9145+2	54872
39	1+6(703+38)=1+6·741	4447	38·6	6(741+9139)+39=6·9880+39	6·9886+3	59319

Схема 1 «Образования членов последовательности $y_n = x^3$ Схема 2 «Образования членов последовательности $y_n = x^4$ **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Страйк Д.Я. Краткий очерк истории математики. Издательство «Наука», главная редакция физико-математической литературы, М., 1969.

PHARMACEUTICS

FATTY ACIDS COMPOSITION STUDY OF *CYPERUS ESCULENTUS* L.

Slobodianiuk L.

PhD of Pharmacy, Assistant Professor of the Department of Pharmacognosy and Medical Botany, I. Horbachevsky Ternopil National Medical University of Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine

Budniak L.

PhD of Pharmacy, Assistant Professor of the Department of Pharmacy Management, Economics and Technology, I. Horbachevsky Ternopil National Medical University of Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine

Marchyshyn S.

Doctor of Pharmaceutical Science, professor, Head of Department of Pharmacognosy and Medical Botany, I. Horbachevsky Ternopil National Medical University of Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine

Ivasiuk I.

Assistant, Department of Pharmacy, Ivano-Frankivsk National Medical University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-20-23](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-20-23)

Abstract

The *Cyperus esculentus* L. contains different biological active substances such as tannins, alkaloids, vitamins E and C, minerals, sterols, saponins and resins. There is a lack of information about fatty acids content of *Cyperus esculentus* L. herb and tubers. Thus the aim of this research was to determine the content of fatty acids of *Cyperus esculentus* L. raw materials. The qualitative composition and quantitative content of saturated and unsaturated fatty acids in herb and tubers of this plant were determined by using GC/MS. The results of analysis showed that the dominant fatty acids in *Cyperus esculentus* L. were linolenic, linoleic, 8-octadecenoic and palmitic acids. Therefore herb and tubers of *Cyperus esculentus* L. can be used in the preparation for new drugs on the basis of these raw materials in the future.

Keywords: *Cyperus esculentus* L., fatty acids, GC/MS.

Introduction

Cyperaceae is a family of monocotyledonous plants among which contain 5,500 species in the world including *Cyperus esculentus* L. [14, 19]. *Cyperus esculentus* L. (tiger nut) is an underutilized plant of the family *Cyperaceae*, which cultivated in subtropical and tropical areas worldwide and is a cosmopolitan plant, widely in Asia, Africa, and some European countries. [6, 10, 11]. *Cyperus esculentus* L. is commonly known as earth almond, tiger nut, chufa, yellow nut sedge and zulu nuts. It is known in Nigeria as “Ayaya” in Hausa, “Ofio” in Yoruba and “Akiausa” in Igbo where three varieties (black, brown and yellow) are cultivated [2, 18]. The yellow variety is favored among all these three varieties plants because of its properties such as fleshier body, attractive colour, and bigger size [2, 8, 11, 14]. The nuts from chufa are valued for their greatly starch content, carbohydrate, dietary fibre [4, 17]. The *Cyperus esculentus* L. is also highly rich in oil, minerals and vitamins C and E [4, 13]. The tubers contain about 25 % oil, which are resistant to peroxidation, 50 % digestible carbohydrates, 4 % protein and 9 % crude fiber [2]. Chukuma et al. was spented screening of phytochemical research showed a content of saponins, resins, sterols, tannins and alkaloids in the tiger nut [7].

Tiger nut was reported as healthy and it helps in preventing heart attacks, thrombosis and activates blood circulation. The *Cyperus esculentus* L. helps in preventing cancer, due to high content of soluble glucose. It was also found to assist in reducing the risk of colon cancer [2, 15]. Jing et al. approved that the leaves of *Cyperus esculentus* L. included flavonoids that had

different biological activities, such as promoting blood microcirculation, antibacterial function, and anticoagulant effect, antioxidative effects in vitro and in vivo [12]. Literature values revealed that tiger nut is also known to have diuretic, carminative, tonic, aphrodisiac, and stimulant effects and some healing uses such as treatment of indigestion, and flatulence [1, 14].

Considering the lack amounts of information of research about component composition of the fatty acids is actual their determination in *Cyperus esculentus* L. Research into lesser known plants is of very great importance as they can replace some of the beneficial expensive oil.

Experimental

The objects of our study were *Cyperus esculentus* L. herb and tubers. They were collected at the experimental sites of the New Cultures Department of M. M. Hryshko National Botanic Garden of the NAS of Ukraine in Kyiv. The aerial part was harvested during a mass flowering period and tubers were collected in autumn after the death of aerial parts in 2018. The raw material was authenticated by Prof. Dzhamal Rakhmetov. A voucher specimen was deposited in the herbarium at the Department of Pharmacognosy and Medical Botany, TNMU, Ternopil, Ukraine.

The qualitative composition study and quantitative fatty acids content determination in *Cyperus esculentus* L. herb and tubers were conducted on gas chromatograph Agilent 6890N with mass detector 5973 inert (Agilent Technologies, USA).

Samples were analyzed on a silica capillary column HP-5MS (apolar) length – 30 m, internal diameter – 0.25 mm, the diameter of sorbent grain 0.25 μ m. The interface and were operated at 250 and 380 °C respectively. The initially set up oven temperature at 60 °C for 4 min, then at the rate of 4 °C/min raised to 250 °C and kept at this point for 6 min and maintained at a final temperature for 7 min. Helium was used as the carrier gas at a constant flow rate of 1.0 ml/min. The sample with a volume of 1 μ l was injected in a splitless mode using 7683 series Agilent Technologies injector. Detection was performed in scan mode in the range (38–400 m/z).

0.5 g (accurately mass) of the raw material was refluxed with a 3.3 ml mixture containing (methanol: toluene: sulfuric acid (44:20:2 v/v)) and 1.7 ml of internal standard solution (undecanoic acid in heptane solution). The sample was maintained in the ultrasonic wa-

ter bath at 80 °C for 2 h. The resulting mixture was allowed to cool and centrifuged for 10 min at 5000 rpm. Then 0.5 ml of the upper heptane phase with containing methyl esters of fatty acids was selected.

The compositions of the product obtained were identified by comparison of their mass-spectrums with data obtained from National Institute Standard and Technology (NIST, 2008) database. The quantitative content of fatty acids was done using internal standard of undecanoic acid in heptane solution added to the sample [3, 5, 16].

Results and Discussion

In total, ten fatty acids were determined in the *Cyperus esculentus* L. herb, including lauric, myristic, palmitic, linoleic, linolenic, stearic, arachidic, behenic, lignoceric, cerotic acids by means of the GC/MS method (Fig. 1, Table 1).

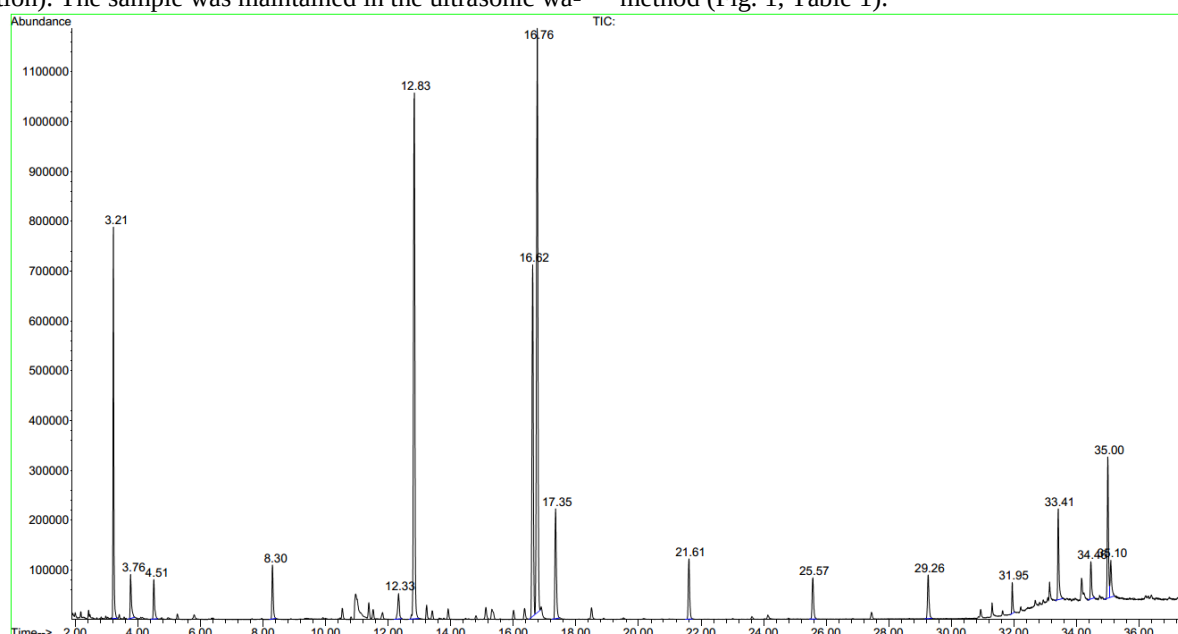


Fig. 1 GC/MS chromatogram of fatty acids in the *Cyperus esculentus* L. herb.

In *Cyperus esculentus* L. tubers, linoleic, 8-Octadecenoic, oleic, stearic, palmitic were identified (Fig. 2, Table 1).

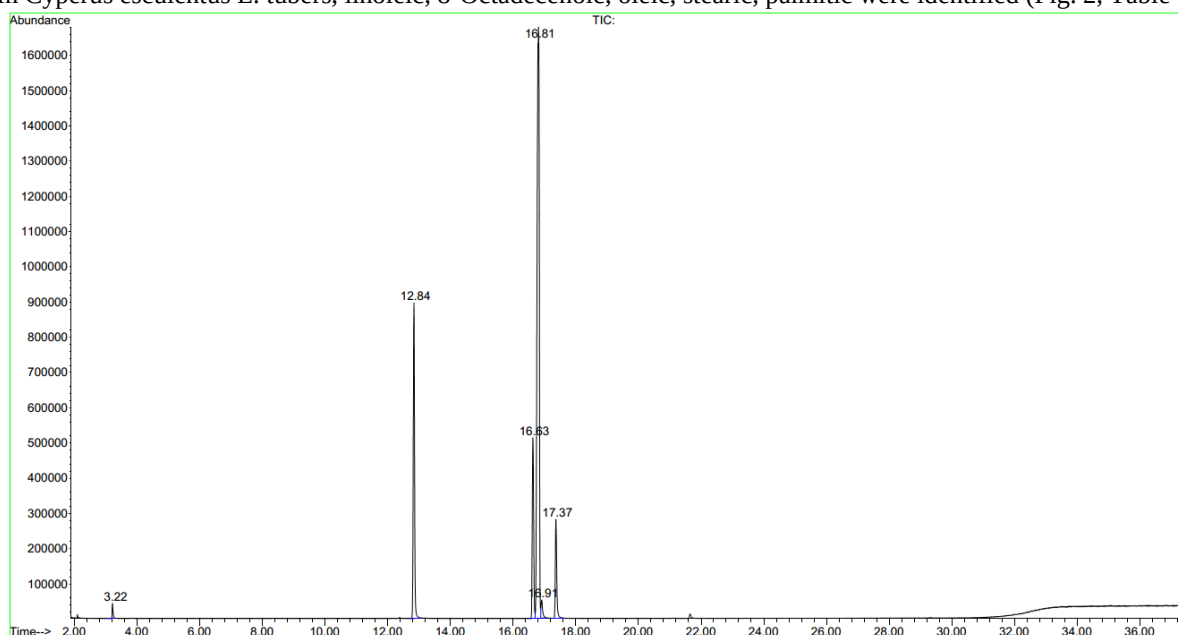


Fig. 2 GC/MS chromatogram of fatty acids in the *Cyperus esculentus* L. tubers.

Table 1

The results of the determination of fatty acids in the *Cyperus esculentus* L.

No.	Retention time	Common name of fatty acid (IUPAC)	Quantitative content of methyl esters of fatty acids in the <i>Cyperus esculentus</i> L.			
			herb		tubers	
			mg/g	% of the total	mg/g	% of the total
1.	3.22	Undecylic (undecanoic)	internal standard			
2.	4.51	Lauric(dodecanoic)*	0.24	1.89	—	—
3.	8.30	Myristic (tetradecanoic)*	0.34	2.67	—	—
4.	12.83	Palmitic (hexadecanoic)*	3.68	28.93	49.90	19.02
5.	16.63	Linoleic (octadecadienic, ω -6)	2.36	18.55	30.54	11.64
6.	16.77	α -linolenic (octadecatrienic, ω -3)	4.12	32.39	—	—
7.	16.81	8-octadecenoic	—	—	161.59	61.59
8.	16.91	Oleic (octadecenoic)	—	—	3.64	1.38
9.	17.36	Stearic (octadecanoic)*	0.78	6.13	16.70	6.37
10.	21.61	Arachidic (eicosanoic)*	0.44	3.46	—	—
11.	25.57	Behenic (docosanoic)*	0.30	2.36	—	—
12.	29.26	Lignoceric(tetracosanoic)*	0.32	2.52	—	—
13.	31.95	Cerotic (hexacosanoic)*	0.14	1.10	—	—
The amount of saturated fatty acids			6.24	49.06	66.6	25.39
The amount of unsaturated fatty acids			6.48	50.94	195.77	74.61
Total			12.72	100	262.37	100

Note: * – saturated fatty acids;

— – not found.

In the *Cyperus esculentus* L. herb, the quantitative content of saturated and unsaturated fatty acids is almost the same, it was 6.24 mg/g (49.06% from total content acids) and 6.48 mg/g (50.94% from total content acids), respectively. Tubers of *Cyperus esculentus* L. contain 2.9 times more unsaturated fatty acids, it was content is 195.77 mg/g (74.61% of the total acid content). Saturated fatty acids play an important role in the hormone synthesis, transfer and absorption of trace elements and vitamins, construction of cell membranes. Also these fatty acids are a source of energy for the human body. Unsaturated fatty acids involve in the body's vital functions.

The results of the study showed that the major components of *Cyperus esculentus* L. herb were linolenic acid (4.12 mg/g; 32.39%), palmitic acid (3.68 mg/g; 28.93%), and linoleic acid (2.36 mg/g; 18.55%). The dominant fatty acids in the tubers of *Cyperus esculentus* L. were 8-octadecenoic, palmitic, and linoleic acids, the content of which was 61.59% (161.59 mg/g), 19.02% (49.90 mg/g) and 11.64% (30.54 mg/g) from total content acids, respectively.

Cyperus esculentus L. herb and tubers are a source of essential fatty acid omega-6 (linoleic acid) that must be supplied in the nutrition because the body needs them. This acid is the starting point for the synthesis of some unsaturated fatty acids [9]. Linoleic acid is transformed in the body into γ -linolenic and turns into prostaglandin E1, which rise immunity. Prostaglandins regulate brain function, reduce the probability of vascular and cardiac diseases, suppress inflammatory processes, normalize the nervous system, regulate metabolism and insulin levels. Also, the *Cyperus esculentus* L. herb contains linolenic acid (omega-3), which normalizes blood cholesterol and blood pressure [5, 16].

Conclusion

As a result of *Cyperus esculentus* L. research, the presence of fatty acids is established in its raw material. The qualitative composition and quantitative content of fatty acids were studied by GC/MS method. Saturated and unsaturated fatty acids were determined in *Cyperus esculentus* L. herb and tubers. The dominant fatty acids in *Cyperus esculentus* L. were linolenic, linoleic, 8-octadecenoic and palmitic acids. The result shows that herb and tubers of *Cyperus esculentus* L. are the sources of fatty acids, so they can be used in the preparation for new drugs on the basis of these raw materials in the future.

REFERENCES:

1. Adejuyitan J.A. Tiger nut processing: Its food uses and health benefits. American Journal of Food Technology. 2011. Vol. 6(3). P. 197-201.
2. Arafat S.M., Gaafar A.M., Basuny A.M., Nas-sef S.L. Chufa tubers (*Cyperus esculentus* L.): As a new source of food. World Applied Sciences Journal. 2009. Vol. 7(2). P. 151-156.
3. Atolani O., Adeniyi O., Kayode O.O., Ade-osun C.B. Direct preparation of fatty acid methyl esters and determination of in vitro antioxidant potential of lipid from fresh *Sebal causarium* Seed. Journal of Applied Pharmaceutical Science. 2015. Vol. 5. P. 24-28.
4. Belew M.A., Abodunrin O.A. Preparation of Kunnu from unexploited rich food source: tiger nut (*Cyperus esculentus*). World Journal of Dairy & Food Sciences. 2006. Vol. 1(1). P. 19-21.
5. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Demydiak O. Determination of *Arnica foliosa* Nutt. Fatty acids content by GC/MS method. ScienceRise: Pharmaceutical Science. 2020. Vol. 6(28). P. 14-18.
6. Buzsáki K., Béres I. Competition for nutrients between yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) and

maize. *Cereal Research Communications*. 2007. Vol. 35(2). P. 305-308.

7. Chukuma R.E., Njoku O., Onongbu I.C. The phytochemical composition and some biochemical effects of Nigerian tigernut (*Cyperus esculentus* L.) tuber. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2010. Vol. 9(7). P. 709-715.

8. Codina-Torrella I., Guamis B., Trujillo A. Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 65. P. 406-414.

9. De Lorgeril M., Salen P., Laporte F., De Leiris J. Alpha-linolenic acid in the prevention and treatment of coronary heart disease. *European Heart Journal*. 2001. Suppl 3. D26-D32.

10. El-Naggar E. A. Physicochemical characteristics of tiger nut tuber (*Cyperus esculentus* Lam) oil. *Middle East Journal of Applied Sciences*. 2016. Vol. 6(4). P. 1003-1011.

11. Evaluation of the protective effect of hydro-methanolic extract of tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) on pentylenetetrazole induced seizures in mice / Alhasan A.W., John M., Saleh M.I.A. et al. *Nature and Science*. 2016. Vol. 14(10). P. 57-64.

12. Neuroprotection of *Cyperus esculentus* L. orientin against cerebral ischemia/reperfusion induced brain injury / Jing S.Q., Wang S.S., Zhong R.M. et al. *Neural regeneration research*. 2020. Vol. 15(3). P. 548-556.

13. Omode A., Fatoki O., Olaogun K.A. Physicochemical properties of some underexploited and non-conventional oil seeds. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 1995. Vol. 11. P. 50-53.

14. Physicochemical characteristics and composition of three morphotypes of *Cyperus esculentus* tubers and tuber oils / Bado S., Bazongo P., Son G. et al. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2015. Vol. 2015. Article ID 673547.

15. Some Physicochemical properties of Flour obtained from fermentation of tiger nut (*Cyperus esculentus*) sourced from a market in gbomoso Nigeria / Adejuyitan J.A., Otunola E.T., Akande E.A. et al. *African Journal of Food Science*. 2009. Vol. 3. P. 51-55.

16. Stoyko L.I., Gusak L.V., Marchishin S.M., Demidyak O.L. Research of fatty acid composition of common centaury herbs and crosne herbs. *Journal of Siberian Medical Sciences*. 2015. Vol. 6. P. 1-9.

17. Umerie S.C., Enebeli J.N.C. Malt caramel from the nuts of *Cyperus esculentus*. *Journal biore-source technology*. 1997. Vol. 8. P. 215-216.

18. Umerie S.C., Okkafor E.P., Uka A.S. Evaluation of the tubers and oil of *Cyperus esculentus*. *Biore-source Technology*. 1997. Vol. 61. P. 171-173.

19. World Checklist of Cyperaceae / Govaerts R., Simpson D.A., Bruhl J. et al. Kew: Royal Botanic Gardens. 2007. 765 pp.

STUDY OF CYTOTOXIC ACTIVITY OF EXTRACTS OF THE ARISTOLOHIA CLEMATITIS L.**Shatalova O.**

*Candidate of Medical Sciences,
Associate Professor, PhD Normal and Pathological Physiology
National University of Pharmacy
Kharkiv, Ukraine*

Malochtan L.

*Professor of the Department of Biochemistry
Doctor of Biological Sciences, Professor
National University of Pharmacy
Kharkiv, Ukraine*

Pohodina L.

*graduate student
National University of Pharmacy
Kharkiv, Ukraine*

Kyslychenko V.

*Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemistry of Natural Compounds
National University of Pharmacy
Kharkiv, Ukraine*

Burda N.

*Doctor of Pharmacy, Associate Professor of the Department of Chemistry of Natural Compounds and Nutrition
National University of Pharmacy
Kharkiv, Ukraine*

**ВИВЧЕННЯ ЦИТОТОКСИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ЕКСТРАКТІВ ХВИЛІВНИКА
ЗВИЧАЙНОГО****Шаталова О.М.**

*кандидат мед.наук, доцент
каф. Нормальної та патологічної фізіології*

Малоштан Л.М.

доктор.біол.наук, професор каф. Біохімії

Погодина Л.І.

аспірант каф. Хімії природних сполук та нутриціології

Кисличенко В.С.

доктор фармац. Наук, професор, зав. Каф. Хімії природних сполук та нутриціології

Бурда Н.Є.

*доктор фармацевтичних наук, доцент
каф. Хімії природних сполук та нутриціології
Національний фармацевтичний університет, м. Харків
DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-24-27](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-24-27)*

Abstract

The article considers the data of an experimental study of the cytotoxic effect of various extracts from the common exciter on an in vitro model. The obtained results indicate the presence of moderate cytotoxic effects of various extracts of the exciter in relation to normal cells in vitro.

Анотація

В статті розглядаються дані експериментального дослідження цитотоксичного впливу різних екстрактів з хвилівника звичайного на моделі in vitro. Отримані результати свідчать про наявність помірного цитотоксичного впливу різних екстрактів хвилівника по відношенню до нормальних клітин в умовах in vitro.

Keywords: *Aristolohia clematidis L., cytotoxicity, test with crystal violet*

Ключові слова: *хвилівник звичайний, цитотоксичність, тест з кристалвіолетом*

Введення. Сьогодні фітотерапія широко застосовується у всьому світі. Хоча і вважається, що продукти рослинного походження порівняно з синте-

тичними препаратами мають меншу кількість побічних ефектів, вони не позбавлені токсичного впливу. Хвилівник звичайний (*Aristolohia clematidis*

L.) відноситься до отруйних рослин за рахунок змісту в листі арістолохієвої кислоти [1].

Фармакологічні дослідження є невід'ємною складовою доклінічних досліджень будь-якого лікарського засобу. Вивчення біологічної активності рослинних екстрактів, незалежно від подальшої мети їх використання, на першому етапі передбачає обов'язкову оцінку їх токсичності. У якості альтернативного методу для вивчення токсикологічних властивостей використовуються дослідження *in vitro* на різних клітинних моделях [11].

Згідно з даними фітохімічних досліджень екстракти з хвилівника містять флавоноїди [1,3,4]. Цитотоксичність флавоноїдів і фенольних сполук - широко відомий факт, підтверджений численними дослідженнями [9, 4, 1].

Цитотоксичність може віддзеркалювати антипроліферативний вплив на пухлинні клітини, що має практичне значення при обґрунтуванні протипухлинної активності, а також відображає профіль безпеки у разі тестування на нормальних клітинах [6,7,8]. Для визначення базової цитотоксичності, застосовуються тести з використанням різних барвників [8, 10, 13]. Дані моделі дозволяють оцінити, з одного боку токсичні впливи на цитоплазматичну мембрану або порушення механізмів її проникності, а з іншої сторони дослідити інгібування процесів проліферації клітин і внутрішньоклітинного метаболізму.

Оскільки однією із складових екстракту, з якими вчені пов'язують фармакологічну активність хвилівника звичайного є фенольні сполуки, то доцільним буде вивчити можливі цитотоксичні властивості отриманих з нього екстрактів.

Метою роботи було дослідження цитотоксичності екстрактів хвилівника звичайного (*Aristolochia clematidis* L.), отриманих з різних вегетативних частин і різними способами екстракції на клітини лінії ВНК-21 в умовах *in vitro*.

Матеріали та методи.

Представлене експериментальне дослідження виконано в рамках державної наукової роботи 0114U000946 «Фармакогностичне дослідження лікарської рослинної сировини та розробка фітотерапевтичних засобів на її основі».

В експериментальному дослідженні використовували екстракти хвилівника звичайного (*Aristolochia clematidis*), отримані на кафедрі хімії природних сполук та нутріціології під керівництвом проф. Кисличенко В.С. [5]. Для виготовлення екстрактів використовували траву та кореневище з коренем хвилівника звичайного (*Aristolochia clematidis* L.), зібрані у фазах бутонізації та цвітіння. Сировину заготовляли у Харківській області у 2018-2019 рр. Точну наважку здрібненої на порошок сировини вміщували в конічну колбу місткістю 200 мл і додавали екстрагент. Спочатку настоювали протягом 1 години при кімнатній температурі, потім нагрівали зі зворотнім холодильником протягом 2 годин при температурі 60°C. Далі одержані витяжки охолоджували та фільтрували [5].

Справжність екстрактів підтверджувалася якісними реакціями, результати яких свідчать про наявність флавоноїдів.

З метою дослідження цитотоксичного впливу використовували чотири різних екстракти *Aristolochia clematidis* L.: 1 - екстракт водний з коренів квітучого хвилівника звичайного, 2 - екстракт водний з надземної частини, квітучого хвилівника звичайного, 3 - екстракт спиртовий з надземної частини, квітучого хвилівника звичайного, екстракція 70% етанол, 4 - екстракт спиртовий з надземної частини, квітучого хвилівника, екстракція 96% етанол. З урахуванням літературних даних [1] для подальших експериментальних досліджень було обрано діапазон концентрацій наданих екстрактів від 60 до 1,85 мг/мл.

У дослідженні цитотоксичного впливу екстрактів хвилівника використано лінію перещеплюваної культури клітин фібробластоподібного типу нирки новонародженого сирійського хом'яка ВНК-21 (Baby Hamster Kidney). Лінія клітин ВНК-21 придбана в Інституті експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України.

Клітини культивували *in vitro* при 37° С в середовищі DMEM (BioWest, Франція) з додаванням ембріональної телячої сироватки (BioWest, Франція) в концентрації 10%. Культуру клітин підтримували в культуральних флаконах об'ємом 25 см² до формування щільного моношару при 37 ± 0,5 ° С, 5% CO₂, вологості атмосфери 95% [6, 13].

Дослідження цитотоксичного впливу здійснювали колориметричним методом з використанням генціанфіолету (кристалічного фіолетового = КФ) [10, 12]. КФ є барвником, який зв'язується з ДНК і клітинними білками життєздатних клітин і дозволяє встановити виживання клітин/пригнічення росту, а також оцінити ступінь проліферації клітин в культурі за показниками оптичної щільності розчиненого барвника. Забарвлення КФ прямопропорційне біомасі ячейки і може бути виміряне фотоколориметрично при 570 нм.

Для отримання різних концентрацій, проводили титрування досліджуваних екстрактів хвилівника звичайного в імунологічному планшеті. Як розчинник використовували фізіологічний розчин. Досліджували наступні концентрації чотирьох рідких екстрактів з різних вегетативних частин хвилівника звичайного: 60, 30, 15, 7,5, 3,75, 1,85 мг/мл, які додавали в культуру клітин ВНК-21 на 2 добу культивування. Клітини засівали в лунки планшета в концентрації 4x10⁶ кл/мл і інкубували з досліджуваними водними екстрактами протягом 24 годин. Розчини екстрактів додавали до культурального середовища через 24 години після посіву клітин. Моношар клітин інкубували з тестовим зразком протягом 24 годин. Паралельно інкубували контрольні зразки клітин, в яких замість екстрактів використовували стерильний фосфатно-сольовий буфер.

Потім проводили оцінку цитотоксичного впливу при фарбуванні генціанфіолетом (0,1% ро-

зчин в 10% етанолі). Через 24 і 48 годин культивування клітини фіксували в 70% розчині етанолу і фарбували 0,1% розчином КФ. Після цього екстрагували барвник з клітин, додавши в лунки по 100 мкл 7% оцтової кислоти. Кількість клітин, що вирости та мали життєздатність в певний час культивування, визначали фотоколориметричним методом за допомогою спектрофотометра Stat Fax 303.

Математичну обробку отриманих даних проводили методами варіаційної статистики за допомогою програми Microsoft Excel та Statistica з визначенням показників: середнє арифметичне значення; помилка середнього арифметичного; достовірність відмінностей між групами порівняння.

Результати дослідження.

За допомогою фотоколориметричного методу було встановлено цитотоксичну дію досліджуваних екстрактів хвилівника на клітини лінії ВНК-21.

Визначення ступеня проліферації клітин ВНК-21 в тесті з генціанфіолетом показало, що здатність до проліферації в присутності досліджуваних екстрактів носила дозо- і час-залежний характер (табл. 1, 2).

Водні розчини всіх досліджуваних екстрактів хвилівника у діапазоні концентрацій від 1,85 до 60 мг/мл по-різному впливали на виживання клітин в культурі при експозиції 24 і 48 годин. Найбільш виражений ефект зниження показника життєздатності клітин встановлений для екстрактів 3 та 4, які в експозиції 24 години значно впливали на показники проліферації клітин і суттєво знижували відсоток клітин, які вижили.

Найвиразніші показники цитотоксичного впливу були зареєстровані на тлі екстракта 3 - спиртового екстракту з трави хвилівника (екстрагент етанол 70%) в дозі 15-60 мг/мл після інкубації протягом 24 годин. На фоні доз 60 мг/мл відмічений практично 98%-вий цитотоксичний ефект. LC₅₀ була зареєстрована на тлі дози 7,5 мг/мл після інкубування з клітинами ВНК-21 протягом 24 годин. На фоні доз 3,75 мг/мл та 1,85 мг/мл зареєстрована приблизно однакова кількість клітин, що вижили, вона складала 75,0% и 74,88% відповідно.

В експозиції 48 годин під впливом екстракту з трави хвилівника (3) відзначено підвищення цитотоксичного ефекту.

Таблиця 1.

Вживання клітин в умовах *in vitro* після інкубації з екстрактами хвилівника звичайного протягом 24 годин, (середнє $\pm$ похибка середнього, n = 4),%

Екстракт, мг/мл	60	30	15	7,5	3,75	1,85
1	56,09 $\pm$ 4,80*	67,49 $\pm$ 11,78*	82,012 $\pm$ 16,684*	83,95 $\pm$ 9,90*	77,08 $\pm$ 12,43*	96,51 $\pm$ 13,13
2	24,12 $\pm$ 8,73*	41,47 $\pm$ 3,94*	47,95 $\pm$ 7,37*	56,26 $\pm$ 11,71*	62,21 $\pm$ 6,087*	89,81 $\pm$ 20,15*
3	1,75 $\pm$ 0,53*	17,80 $\pm$ 3,18*	29,15 $\pm$ 4,43*	49,78 $\pm$ 6,70*	75,01 $\pm$ 11,60*	74,88 $\pm$ 14,45*
4	5,68 $\pm$ 0,77*	22,44 $\pm$ 5,32*	58,63 $\pm$ 8,70*	81,21 $\pm$ 11,24*	82,18 $\pm$ 11,28*	78,57 $\pm$ 11,83*

Примітка: * - відмінності достовірні щодо контролю, p < 0,05;

Таблиця 2.

Вживання клітин в умовах *in vitro* після інкубації з екстрактами хвилівника звичайного протягом 48 годин (середнє $\pm$ похибка середнього, n = 4),%

Екстракт, мг/мл	60	30	15	7,5	3,75	1,85
1	42,79 $\pm$ 6,33*	59,64 $\pm$ 11,11*	66,72 $\pm$ 7,92*	72,82 $\pm$ 7,79*	72,38 $\pm$ 7,10*	83,39 $\pm$ 4,08
2	15,34 $\pm$ 2,41*	31,78 $\pm$ 5,73*	24,25 $\pm$ 6,09*	35,269 $\pm$ 6,07*	49,96 $\pm$ 1,94*	78,53 $\pm$ 10,20
3	0,48 $\pm$ 0,31*	9,72 $\pm$ 0,59*	23,39 $\pm$ 2,90*	26,37 $\pm$ 6,33*	43,24 $\pm$ 6,32*	75,64 $\pm$ 5,89
4	1,01 $\pm$ 0,37*	2,79 $\pm$ 0,76*	45,34 $\pm$ 1,66*	50,62 $\pm$ 4,47*	69,95 $\pm$ 2,53*	77,85 $\pm$ 10,25*

Примітка: * - відмінності достовірні щодо контролю, p < 0,05;

Водний екстракт з трави хвилівника (2) мав значно нижчі показники цитотоксичного впливу у всіх досліджуваних дозах у порівнянні зі спиртовими екстрактом трави хвилівника (3). При експозиції 24 години в концентрації 7,5мг/мл екстракт хвилівника №2 підвищував показник виживання клітин до 89,81%

При збільшенні часу контакту досліджуваних розчинів з клітинами ВНК-21 до 48 годин,

проліферація клітин на тлі всіх досліджуваних концентрацій водного екстракту з трави хвилівника (№2) істотно знизилася в порівнянні з експозицією 24 години і відсоток клітин, що вижили складав: 35,2%, 49,96%, 78,5 % відповідно для концентрацій 7,5, 3,75 і 1,85 мг/мл.

Найменший цитотоксичний вплив на клітини ВНК-21 чинив водний екстракт з кореня хвилівника (1). Під його впливом в найбільшій з

досліджуваних концентрації 60 мг/мл відмічено 44% загибелі клітин, а через 48 годин відзначено збільшення відсотка загибелі клітин до 58% ($p < 0,05$). Найменші з досліджених концентрацій екстрактів (1,85 и 3,75 мг/мл) при експозиції 24 години призводили до загибелі клітин ВНК-21 на рівні 17 % и 28% відповідно.

Висновки: Проведено вивчення цитотоксического впливу екстрактів з хвилівника звичайного. Експериментально встановлено: екстракт з надземної частини хвилівника має цитотоксичну та цитостатичну активності по відношенню до нормальних клітин тварин. При концентрації від 15 мг/мл призводить до загибелі більше 70 % клітин ВНК-21 в культурі. LC_{50} була зареєстрована на тлі спиртового екстракту з хвилівника в дозі 7,5 мг/мл після інкубування з клітинами ВНК-21 протягом 24 годин.

В ході досліджень *in vitro* на моделі клітин ВНК-21 вперше було проведено визначення цитотоксичної активності екстракту з кореня хвилівника звичайного. Отримані дані свідчать, що екстракт з кореня хвилівника має помірно виразні цитотоксичні властивості по відношенню до нормальних клітин. Під його впливом в найбільшій з досліджуваних концентрації 60 мг/мл відмічено 44% загибелі клітин.

За ступенем цитотоксичного впливу досліджувані екстракти з різних вегетативних частин хвилівника були ранжировані у наступному порядку: екстракт трави у період цвітіння, екстрагент етанол 70% > екстракт трави у період цвітіння, екстрагент етанол 96% > екстракт трави у період цвітіння, екстрагент вода > екстракт кореня у період цвітіння, екстрагент вода. Отримані результати поглиблюють і розширюють уявлення про біологічний вплив екстрактів з хвилівника звичайного і мають практичне значення для фахівців галузі біології та фармації, які вивчають молекулярні і клітинні механізми впливу в умовах *in vitro*.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Исследование цитотоксической и цитостатической активности флавоноидсодержащего экстракта кирказона ломоносовидного (*Aristolochia clematitis* L.) в экспериментах *in vitro* и *in vivo* Полуконова Н. В., Наволокин Н. А., Полуконова А. В., Мудрак Д. А., Андреева А. А., Аврамец О. А., Прилепский А. Ю. Бюл. Бот. сада Сарат. гос. ун-та. 2018. Т. 16, вып. 2. С. 23 – 38
2. Клеточные культуры как перспективная биологическая модель в токсикологических исследованиях Ширяева А.И., Косякова К.Г., Сидоров

С.П., Фатеев И.В., Кузьмин А.А. // Medline.ru, Том 20, Клиническая токсикология. – 2019. - С. 176-186

3. Погодіна Л.І., Бурда Н.Є., Кисличенко В.С. Визначення кількісного вмісту флавоноїдів у густому екстракті трави хвилівника звичайного. Сучасні досягнення фармацевтичної науки в створенні та стандартизації лікарських засобів і дієтичних добавок, що містять компоненти природного походження : матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 11 березня 2020 р., м. Харків. Х. : НФаУ, 2020. С. 133

4. Погодіна Л.І., Бурда Н.Є., Кисличенко В.С. Вивчення амінокислотного складу хвилівника звичайного (*Aristolochia clematitis* L.). Фітотерапія. Часопис. 2019. № 3. С. 49-52

5. Патент на корисну модель № 141876, МПК А61К 36/264, А61К 125/00. Лікарський засіб антимікробної дії рослинного походження / Погодіна Л.І., Кисличенко В.С., Бурда Н. Є. (Україна). –№ u 2019 11313; Заявл. 20.11.2019; Опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8/2020.

6. Романова М. А., Додонова А. Ш. Изучение цитотоксичности биологически активных соединений на культуре клеток // Молодой ученый. — 2016. — №18. — С. 110-114.

7. Трахтенберг І.М., Коваленко В.М., Кокшарьова Н.В., Жмілько П.Г. та ін. Альтернативні методи і тест-системи. Лікарська токсикологія. К.: Авіцена, 2008. 272 с.

8. Arturo Anadón et. al. The role of *in vitro* methods as alternatives to animals in toxicity testing. Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology, January 2014, 10, 1 : 67-79.

9. Burda S. Antioxidant and Antiradical Activities of Flavonoids / S. Burda, W. Oleszek// J. Agric. Food Chcm. — 2001. — V. 49, N 6. — P. 2774–2779

10. Feoktistova M, Geserick P, Leverkus M. Crystal Violet Assay for Determining Viability of Cultured Cells. Cold Spring Harb Protoc. 2016(4) : 343-347.

11. Garle M.J., Fentem J.H., Fry J.R. *In vitro* cytotoxicity tests for the prediction of acute toxicity in vivo // Toxicology In Vitro.- 1994.- V. 8.- P. 1303 — 1313.

12. Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assay. J. Immunol. Meth. 1983. Vol. 65, 1–2. pp. 55–63.

13. The cytotoxic activity of the dry extract from dahlia herb of Ken's flame variety studied on an *in vitro* model of human liver cell culture LO Shakina, LM Maloshtan, OM Shatalova – 2019.- С.20-22

SCIENTIFIC AND APPLIED APPROACHES TO IMPROVING THE SYSTEM OF PRICES AND TARIFFS FOR MEDICINES**Nemchenko A.***Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor
National University of Pharmacy, Kharkov, Ukraine***Tsareva K.***Assistant, Donetsk National Medical University,
Kramatorsk, Ukraine*DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-28-34](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-28-34)**Abstract**

The methodology for determining of tariffs for individual compounding of extemporaneous medicines has been improved, according to which uniform methodological principles of pricing in relation to cost have been introduced, both for ready-made and extemporaneous medicines. According to the results of comparison of prices for extemporaneous medicines and their ready-made analogues, contradictions in the price system and their unreasonable affordability have been established. A conceptual model of increasing the price and physical affordability of extemporaneous drugs is proposed, which allowed to systematize the main problems of pharmacy manufacturing at all levels of government and suggest further ways to solve them.

Keywords: pricing, prices, tariffs for production, medicines, extemporaneous medicines, prescription, pharmaceutical manufacture.

Formulation of the problem

Despite the high rate of development of domestic industrial production of medicines, there are many cases when they are not able to fully meet the needs of certain groups of patients, in particular, children and the elderly, those suffering from allergies or skin diseases, etc. In order to comply with the good standards of pharmaceutical care and follow the modern concept of "personal medicine", pharmacy compounding with the introduction of good pharmacy practice is developing in most countries of the world, while in Ukraine it tends to decrease. The development of Ukrainian legislation about an improving the pricing and availability of medicines in the context of reforming the domestic health care system is becoming increasingly important. The price of medicines is currently seen as a systemic socio-economic category that focuses on virtually all major relationships in both health and pharmacy sector and society.

Analysis of recent research and publications

The works of domestic scientists are devoted to the analysis of modern principles of medicines pricing improving abroad and in Ukraine [3-6]. However, the study of organizational and economic problems of the system of prices and tariffs for extemporaneous medicines was not given due attention.

The purpose of the work was to develop scientific and methodological approaches to improving the system of prices and tariffs for extemporaneous medicines.

Presenting main material

In many countries around the world, there is modern extemporaneous compounding (manufacturing), which is characterized by patients and physicians as rational, cost-effective and has support at the state level. Thus, in Austria, France, Germany, Poland, Sweden, the share of extemporaneous medicines production is about 20% of all prescription medicines. The most extemporaneous medicines are dermatological [1]. Of course, extemporaneous compounding cannot replace high-tech industrial production, just as industrial medicines cannot replace those made in pharmacies. After all, a large list of medicines should be used in the form of certain dosage forms manufactured exclusively in a pharmacy. Due to the high probability of contamination, industrial production of aqueous and oil suspensions of zinc oxide, talc, bismuth subnitrate is impossible. In pediatric dermatological practice, the concentration of corticosteroids is reduced using an extemporaneous emulsion ointment base, the shelf life of which is not more than 5 days. Sulfur suspensions and drugs for the treatment of newborns and children under one year have no industrial analogues. But still there are a number of drugs that are manufactured both in pharmaceutical plants and in pharmacies. We compared the prices of extemporaneous medicines, which are most often prescribed and have industrial analogues. To do this, we used information from the sites of production pharmacies and compared it with the average price on the site Tabletki.ua in the city where the production pharmacy is located (table 1).

Table 1

Comparative analysis of prices for extemporaneous medicines and their industrial analogues

Prescription / composition	Price, UAH	Industrial analogue / composition	Average price, UAH
<u>Xeroform 10,0</u>	104,80 (per 7,0 – 73,36)	<u>Xeroform 7,0 Istok Plus LCC</u>	53,56
		<u>Xeroform Plus 7,0 Health Keys</u>	
<u>Methylene blue 1% alcohol solution 20,0</u>	AMA – 53,80	<u>Methylene blue solution 1% alcohol 20 ml Monfarm</u>	33,74
<u>Benzyl benzoate emulsion 50 ml</u> Benzyl benzoate 20% Emulsifier Purified water	58,5	<u>Benzyl benzoate emulsion 50 г LCC «SCI «Pharmaceutical factory»</u> Benzyl benzoate 20% Laundry soap Emulsifier Purified water	13,45
		<u>Benzyl benzoate emulsion 50 г LCC «Pharmaceutical company «Zdorovya»</u> Benzyl benzoate 20% Emulsifier Purified water	11,33
<u>Gel with Metronidazole</u> Metronidazole 1% Glycerin Gel former Purified water	48,50	<u>Metrigil gel 10 mg/ g 30 g</u> Metronidazole Propyl parahydroxybenzoate (E 216) Propylene glycol Carbomer 940 Edetate disodium Sodium hydroxide Methyl parahydroxybenzoate (E 218) Purified water	104,27
		<u>Rosamet cream 1% 25 g Metronidazole</u> Methylparaben (methyl parahydroxybenzoate) (E218) Propylparaben (propyl parahydroxybenzoate) (E216) Glycerin Mineral oil Anionic wax emulsified Propylene glycol Purified water	109,93
<u>Zinc paste</u> Zinc dioxide Vaseline	11,50	<u>Zincoilment 10% 25 г PF Viola</u> Zinc oxide White soft paraffin <u>Zinc ointment 10% 20 g Unipharma LLC</u> Zinc oxide White soft paraffin	10,93
<u>Sodium tetraborate solution 20% in glycerin 30ml</u> Glycerin Sodium tetraborate	16,50	<u>Sodium tetraborate 20% in glycerin 30 g SE</u> "Experimental Plant of Medicines of the Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of NASU" Storm 20% Glycerin	19,52
<u>Onychoplast</u> Urea Paraffin Wax Lanolin Water	91,60	<u>Ureotop ointment 12% 50 g Urea</u> White soft paraffin Propylene glycol α-tocopherol acetate Sorbitan sesquioleate Glycerin Retinol palmitate Isopropyl myristate Castor oil polyethoxylated and hydrogenated Wheat starch Microcrystalline wax Lactic acid	113,25
		<u>Carboderm-Darnitsa 30 g Urea</u> Cetylpyridinium chloride Propylene glycol Mineral oil Cetostearyl alcohol	83,20

		<i>Purified water</i>	
<u>Lassar's pasta</u> <u>Salicylic acid 0.4</u> <u>Zinc oxide</u> <u>Starch ana 5.0</u> <u>Vaseline 10.0</u>	27,80	<u>Salicylic-zinc paste 25 g FF Viola</u> <u>Salicylic-zinc paste 25 g LLC Unipharma</u>	27,64
<u>Sorbent 10 r</u> <u>Silicone dioxide</u>	40,50	<u>Atoxil 10 r</u>	45,92
<u>Wound healing gel 25 r</u> <u>Gel base</u> <u>Methyluracil</u> <u>Chloramphenicol</u>	41,10	<u>Levomocol ointment 25 g FF Lubnipharm</u> <u>Chloramphenicol</u> <u>Methyluracil</u> <u>Polyethylene oxide 1500 Polyethylene oxide 400</u>	19,78

The analysis showed a heterogeneous trend, when some extemporaneous medicines exceed the cost of industrial analogues, and some – on the contrary have a lower price. The excess of the cost of extemporaneous medicines compared to industrial ones is probably explained by the inconsistency of tax regulation. Thus, prices and tariffs for extemporaneous medicines are subject to value added tax (VAT) at a rate of 20%, which is almost three times higher than the VAT rate on industrial medicines. In turn, in order to increase the shelf life of industrial drugs, they contain excipients (stabilizers and preservatives), which lead to an increase in price. Thus, there are currently contradictions in the system of prices for extemporaneous drugs and analogues of industrial production, which indicates their unreasonable affordability. Modern medicines pricing in Ukraine is based on costly methods. The tariff (Latin – *Taxa laborum*) includes the amount of costs associated with the compounding and packaging of extemporaneous medicines, as well as the profit required for the development of pharmacy' compounding [5].

Theoretical approaches to the justification of tariffs for the compounding (manufacture) of extemporaneous medicines, which were laid down by scientists of the National University of Pharmacy in the 90s, in Ukraine and other CIS countries, remain unchanged today [5]. At the same time, a number of important factors, namely: reforming the accounting and taxation system, implementation of national standards of pharmacy practice (GPP), etc., indicate the need to renewal current tariffs and methods of determining them taking into account changes in legislation and socio-economic

sphere. According to Art. 44 of the Commercial Code of Ukraine, calculations of tariffs for individual and serial production are carried out by pharmacies independently. The application of estimated tariffs is carried out on the basis of an order of a pharmacy. According to the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine №240 of 02.07.2014, the state regulation does not apply to dosage forms that are compounded in pharmacies by prescriptions and orders of health care institutions. Improving the methodology for determining tariffs for the manufacture of extemporaneous medicines currently involves the introduction of common methodological principles of pricing, which are the basis of domestic legislation for both ready-made and extemporaneous medicines. Such principles determine, first of all, approaches to the formation of the cost of medicines. To determine the order of formation of the cost of extemporaneous drugs and the calculation of tariffs for individual compounding of medicines in the pharmacy, we together with the State Service for Medicines of Ukraine have developed guidelines "Formation of the cost of extemporaneous medicines: calculation of tariffs for individual manufacture of medicines in the pharmacy". Methodical recommendations for determining the cost of compounding and packaging of medicines and medical devices in pharmacies (approved by the order of the Ministry of Health of Ukraine №395 from 31.12.1996) and take into account the requirements of GPP. In fig. 1 shows the main stages of calculation of tariffs for individual production.

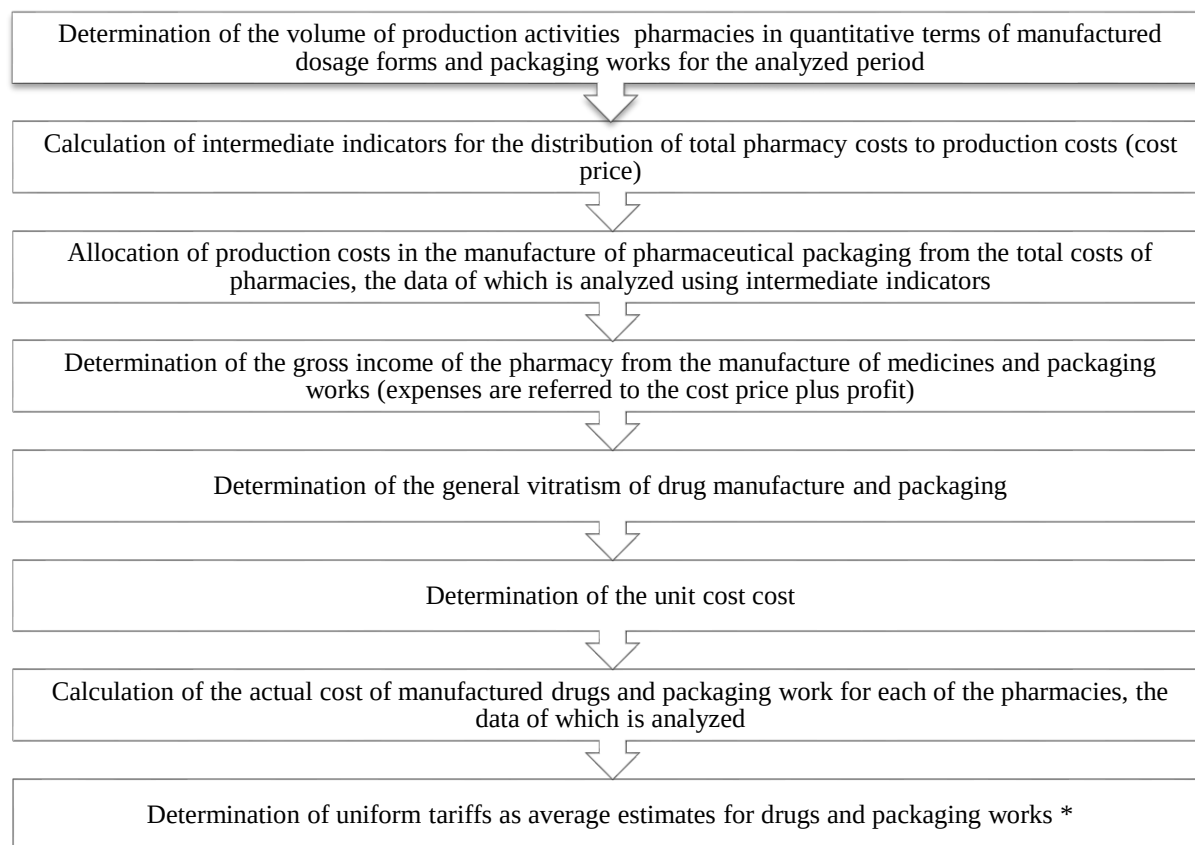


Figure 1. The main stages of calculating tariffs for the compounding of medicines in pharmacies (* - for pharmacy networks or regional tariffs)

According to the proposed method of allocating costs for individual compounding of extemporaneous medicines and packaging work, production costs are recognized only those of the total costs of the pharmacy, which are fully related to such costs and are included in their cost (direct material costs, labor costs, other direct costs), as well as variables and constants from the distributed overhead for each item of operating costs separately in accordance with Accounting Standard 16 "Expenses".

Administrative costs and costs of realization are not included in production costs, if the pharmacy has appropriate departments. If such departments are not allocated, then these costs are allocated to production costs according to the relevant indicators.

To calculate the cost of manufacturing extemporaneous medicines and packaging work used reporting indicators of the pharmacy (prescription and production department) for one quarter, namely: indicators of pharmacy costs; volumes of financial and economic activity; volumes of manufacture and packaging of extemporaneous medicines, determined on the basis of a continuous sample for one of the quarters of the year. The scope of activities is provided by pharmacies according to the nomenclature of manufactured dosage forms and packaging works. Determining the relative share of the cost of manufacturing extemporaneous medicines in the total cost of the pharmacy allows calculations to be made in proportion to the volume of production activity. The calculation of tariffs is based on ensuring the profitability of the compounding of medicines in pharmacies.

Considering to the lack of direct methods for determining the total cost of extemporaneous medicines

to justify the fee for their manufacture and packaging, it is advisable to use "cost for production' unit" index for dosage form and basic technological operations.

Determining the "cost for production' unit" index as a comprehensive indicator that takes into account the complexity (technological, time and physical) and material consumption is carried out according to the standards of time for work performed in pharmacies that serve only the population, population and health care facilities, only health care facilities based on expert assessments of specialists. Methodically it is possible to adjust the "cost for production' unit" for dosage form (in the case of improving the technology of compounding medicines).

The actual cost of compounding medicines and packaging works per unit is determined for each pharmacy as follows:

- the total "cost for production' unit" of compounding medicines and packaging work is calculated by the weighted average "cost for production' unit" ratios multiplied by the volume of work;
- the cost per unit of "cost for production' unit" is determined by dividing the gross income of the pharmacy from the manufacture of extemporaneous medicines by the total "cost for production' unit";
- the cost of dosage forms, technological operations and packaging units is determined by "cost for production' unit" table.

The price of individually compounding medicines is formed based on retail prices for ingredients and approved tariffs for manufacture and packaging, including VAT. According to the Tax Code of Ukraine (Article 193.1), the VAT rate for medicines entered in the State Register is 7%. As extemporaneous medicines

cannot be registered in the State Register, the VAT rate is 20%.

We have calculated and analyzed the average tariffs in the Kharkiv region for the individual compounding of extemporaneous medicines and packaging and

ancillary work since 2007. The analysis showed a tendency to increase tariffs in 2020 by almost 5 times compared to 2007 and almost 2 times compared to 2011 (Table 2). Moreover, this trend is ambiguous due to the irregular review of tariffs in Ukrainian pharmacies.

Table 2

Analysis of tariff growth indices for individual compounding of medicines in pharmacies

№	Dosage forms and basic technological operations	Measur.	2020/07	2020/11
1.	Solutions for injections volume:	fl.	5,22	2,09
	400-500 ml	fl.	5,21	2,09
	200-250 ml	fl.	4,92	1,97
	50-100 ml	fl.	4,92	1,97
	to 50 ml	fl.	4,92	1,97
	including sterilization	oper.	4,92	1,97
2.	Eye drops (ointments), medicines for babies	fl.	4,92	1,97
	including sterilization	oper.	4,92	1,97
3.	Oils sterile	fl.	4,92	1,97
4.	Solutions and drops for internal and external use	fl.	4,72	1,89
	Volume: 5 l and more	fl.	4,72	1,89
	from 1 to 5 l	fl.	4,72	1,89
	400-500 ml	fl.	4,72	1,89
	to 250 ml	fl.	4,72	1,89
5.	Infusions and decoction by volume:	fl.	4,69	1,88
	1 l and more	fl.	4,92	1,97
	400-500 ml	fl.	4,91	1,97
	to 250 ml	fl.	4,93	1,97
6.	Emulsions and suspensions, liniments	fl.	4,91	1,97
7.	Dosed powders № 10	dos.	4,91	1,97
	Dosage every next after 10 powders	dos.	5,40	1,93
8.	Undosed powders, fees	oper.	4,92	1,97
9.	Ointments, pastes	jar.	4,92	1,97
10.	Suppositories	dos.	4,92	1,97
	Dosage every next after 10 sup.	oper.	4,80	2,00
II.	Addition of every next component in any dosage form	oper.	4,96	1,97
III.	Responsibility for work with poisons and narcotic	oper.	4,91	1,97

The current unsatisfactory state of providing the population with extemporaneous medicines is one of the urgent problems of the domestic health care system. The number of pharmacies that compound medicines is constantly declining, so the population of some areas of cities and towns of the country was left without this type of pharmaceutical care. However, one of the main principles of GPP is to ensure the well-being and quality of life of patients, which provides for the individuality of pharmaceutical care, which is possible for many categories of patients, including children and geriatric age.

Therefore, taking into account EU requirements, it is important to maintain industrial pharmacies, as there is a need for unprofitable for industrial production, but vital and necessary for patients similar extemporaneous medicines.

In this regard, we proposed a conceptual model of increasing the physical and price availability of extemporaneous medicines in Ukraine (conceptual model), which is presented in Fig. 2. Based on the analysis of scientific and practical publications and the results of the All-Ukrainian survey of pharmaceutical specialists of production pharmacies, we worked out the main problems of extemporaneous medicines and identified likely ways to solve them, as well as formulated development strategy – development and implementation of organizational, legal and scientific educational

measures to increase the availability of extemporaneous medicines.

According to the conceptual model, all subjects of the system were divided by us into three levels of management: the first – public authorities, the second – the authorities by territorial-administrative units, the third – the direct participants – production pharmacies. In order to rationally implement the formulated strategy of development and implementation of a set of organizational, legal and scientific-educational measures to increase the availability of extemporaneous medicines, we conducted a clustering of ways to implement the main problems, which identified three clusters. The largest cluster is the second, which includes more than half – 8 out of 14 activities. The implementation of the conceptual model will solve a very important socio-economic problem of national scale in the field of effective health care reform.

Conclusions.

Analysis of national and international problems of pharmacy compounding, as well as substantiation of scientific and methodological approaches to improving the system of prices and tariffs for medicines, allowed to develop a conceptual model to increase physical and price accessibility to extemporaneous medicines, taking into account the requirements of Good pharmacy practice, changes to domestic legislation and world experience.

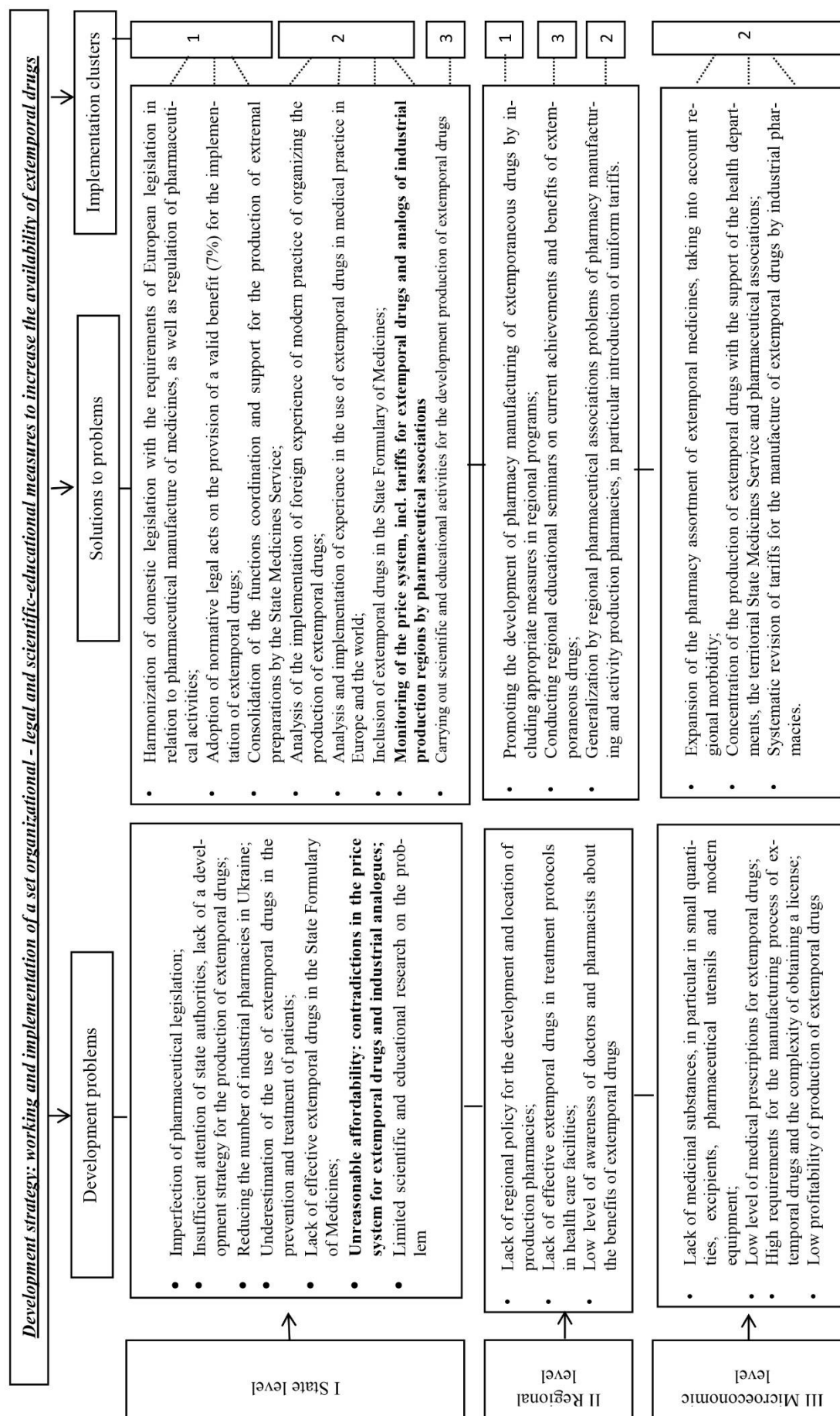


Figure 2. Conceptual model of increasing the physical and price availability of extempororal drugs in Ukraine

*Designation: 1 – legal measures; 2 – organizational measures; 3 – scientific and educational activities

REFERENCES:

1. Korytniuk R. S., Hudz N. I., Fetko M. M., Vyshnevskaya L. I., Heorhiievskiy H. V. Vyhotovlennia likarskykh zasobiv v umovakh apteky i hospitalna farmatsiia v krainakh Yevropeiskoho Soiuzu [Manufacture of drugs in a pharmacy and hospital pharmacy in the European Union]. *Pharmacom* 2015; 3/4 : 73-77.
2. Galkovskaia G. TSenoobrazovanie v ES. Osnovnye mekhanizmy kontrolya raskhodov [Pricing in the EU. Basic cost control mechanisms]. *Apteka*. 2015; 29. URL: <http://www.apteka.ua/article/339867>.
3. Kosiachenko K. L., Nemchenko A. S. Analiz suchasnykh orhanizatsiino-ekonomichnykh problem vyhotovlennia likarskykh zasobiv v aptekakh [Analysis of modern organizational and economic problems of manufacturing drugs in pharmacies]. *Management, economics and quality assurance in pharmacy*. 2011; 2 (16) : 34-39.
4. Nemchenko A.S., Косяченко K.L., Nemchenko O.A. Tsinoutvorennia na likarski zasoby [Pricing of medicines]: monohrafiia. Kharkiv, 2012. 304 p.
5. Nemchenko A.S., Nazarkina V.M. Obgruntuvannia sotsialno efektyvnykh napriamkiv udoskonalennia tsinoutvorennia na likarski zasoby [Substantiation of socially effective directions of improvement of pricing for medicines]. *Social pharmacy in health care*. 2016; 3 : 30–37.
6. Nazarkina V.M. Doslidzhennia normatyvno-pravovoi bazy u sferi zabezpechennia dostupnosti likiv dlia naselennia [Research of the legal framework in the field of ensuring the availability of medicines for the population]. *Pharmaceutical Review*. 2020; 1 : 81-91.
7. Petkova V., et al. Extemporaneous preparation- specification and types. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 2015; 2: 1-7.
8. Kiseļova, O.; Mauriņa, B.; Šidlovskā, V. Analysis of Extemporaneous Prescriptions Prescribed by Dermatovenerologists in Latvia and Comparison with Standardized Compounded Preparation Monographs of Germany and USA. *Medicina* 2020; 56 : 29.
9. Arbeitshilfe Taxieren von Rezepturen. URL: <https://www.deutschesapothekenportal.de/rezept-retax/dap-retax-arbeitshilfen/rezeptur/taxieren-von-rezepturen/>

PHYSICAL SCIENCES

LASER SURFACE ALLOYING METALS AND ALLOYS

Yurov V.

Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor

Guchenko S.

PhD student

Karaganda University named after E.A. Buketov

Kazakhstan, Karaganda

Salkeeva A.

Associate Professor

Kusenova A.

Associate professor

Karaganda Technical University

Kazakhstan, Karaganda

DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-35-40](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-35-40)

Abstract

Surface laser alloying has become relevant in recent years. Since this alloying is associated with the surface layer, the thickness of the surface layer and its properties come to the fore.

In this work, we proposed an empirical model of the surface layer and how this model affects surface laser doping. An empirical model of the surface layer was obtained by us on the basis of the thermodynamic approach. The equation that describes this layer depends on one fundamental parameter - the atomic volume of the element.

Traditional methods of laser surface alloying of metals and alloys are due to the diffusion of chemical elements from a gas or liquid medium. The diffusion mobility of chemical elements from the molten zone to the thermal zone does not exceed 10 μm . We have proposed an empirical model of the surface layer of solids. The thickness of the surface layer of some metal oxides can reach up to $\sim 1 \mu\text{m}$. Porosity can increase the thickness of the surface layer by a factor of 5–6, which is $\sim 5\text{--}6 \mu\text{m}$ for metal oxides and is close to diffusion mobility in surface laser doping. The diffusion mobility in the nanostructure depends on the surface tension σ . It has been shown that the thermal conductivity of metals with a size of 1 nm is reduced by 2 times compared with bulk samples and at sizes of 50 nm they already differ little from the latter.

Keywords: laser alloying, surface energy, surface layer thickness.

Introduction

We raised the issue of laser alloying in [1]. The advantages of laser surface alloying are as follows [2]:

1. Properties of the surface layer and its reproduction.
2. The highest speed of the process.
3. Local zones are available anywhere.
4. An expensive alloying element is available.
5. No further heat treatment.
6. Laser surface alloying is environmentally friendly.

A very large number of works [2-7] are devoted to laser surface alloying of steels, in which their morphology, physical and chemical composition of surface layers, mechanical properties, changes in surface energy, surface charge and surface topography are studied. These questions were raised in foreign monographs [8-11]. At the end of 2013, in [12], a review was given on laser surface alloying of steel products, and in 2020 the

same conclusion was reached in [13]. Briefly, their conclusion was as follows: laser alloying is of scientific and practical interest, but at present there are no specific technologies from the applied point of view due to the lack of general laws governing changes in the properties of the surface layer upon laser irradiation. Despite this, the latest dissertations in various metals and alloys [14-16] have been devoted to laser surface alloying, and the term “super-alloying” has even appeared [17]. In this work, we will discuss the properties of the surface layer from our proposed model [18, 19].

Laser surface alloying

Traditional methods of laser surface alloying of metals and alloys are caused by the diffusion of chemical elements from a gas or liquid medium. Diffusion can be carried out chemically from the gas phase or from pre-deposited coatings on steel or alloy. As a result, a change in the chemical composition occurs in the surface layer (Fig. 1) [20].

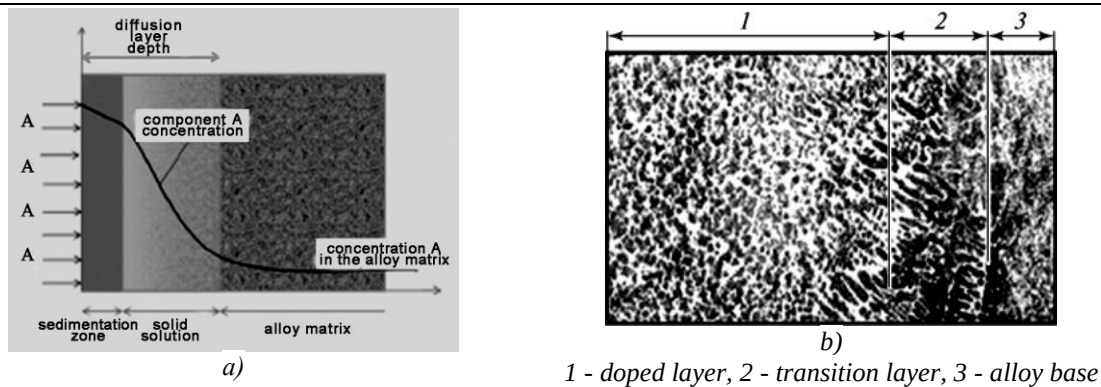


Figure 1 - Distribution of a chemical element inside the alloy (a), the structure of the surface layer (b) [20].

The surface layer includes two zones. The alloyed zone is in a fused state during laser irradiation. The second zone, when irradiated with a laser, remains solid, but significantly heated. The doped volume during processing with a pulsed laser lies in the range of 0.4 mm,

and when processing with a continuous laser, 0.3-1.0 mm. The alloyed volume, in contrast to quenching, is saturated with chemical elements. The section of a steel sample is shown in Fig. 2 [21].

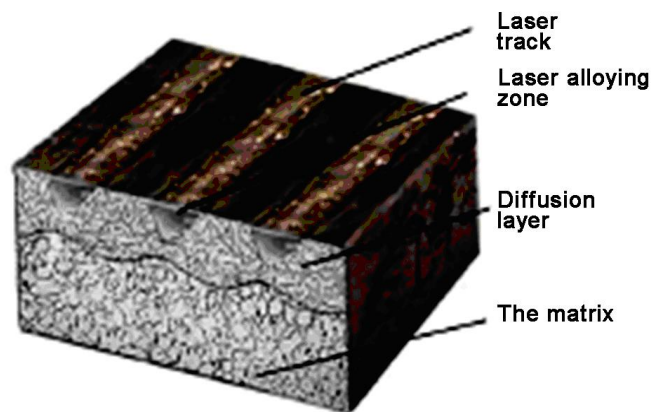


Figure 2 - Formation of the modified layer on a steel surface [21]

Under laser irradiation, convective flows are formed in the surface layer due to the large value of temperature gradients (Fig. 3) [2].

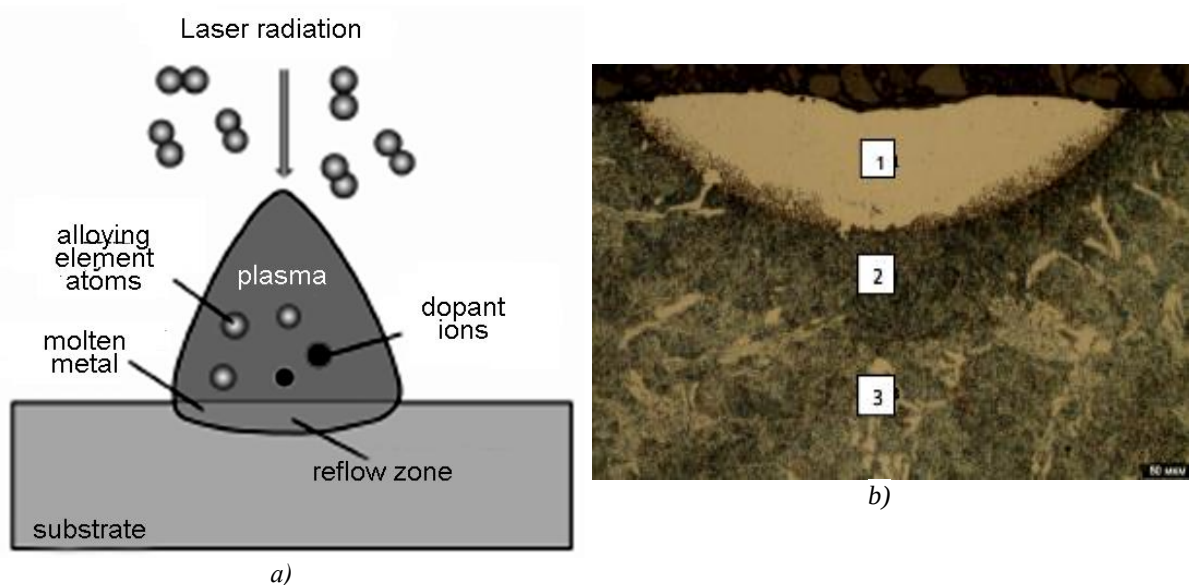


Figure 3 - Scheme of laser alloying with reflow (a), (b) change in the surface layer of a sample made of steel Kh12MF [2].

The diffusion mobility of chemical elements from the melted zone to the thermal zone does not exceed 10 microns.

Pre-coating for surface laser alloying.

In addition to the methods of laser alloying discussed above, alloying from coatings to steel or alloys

previously deposited by plasma, magnetron, galvanic and other methods can be done. In fig. 4 shows the photographs we obtained of coatings of the FeTiCrNi alloy before and after surface laser alloying.

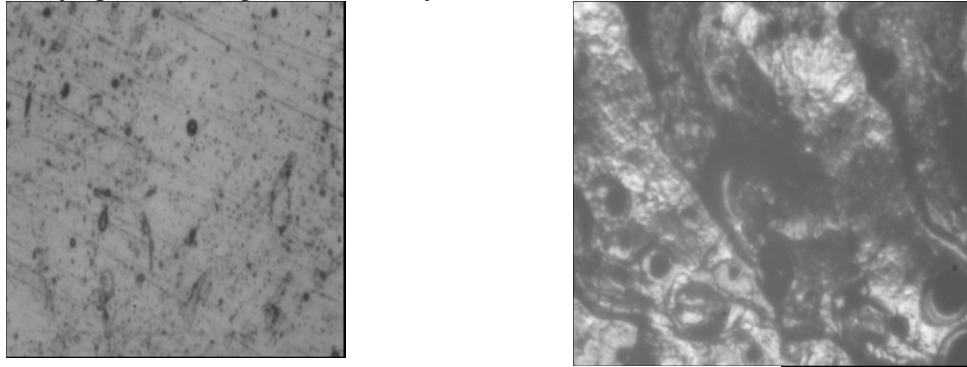


Figure 4 - Sample surface before and after laser alloying (magnification 600 on the Epiquant microscope)

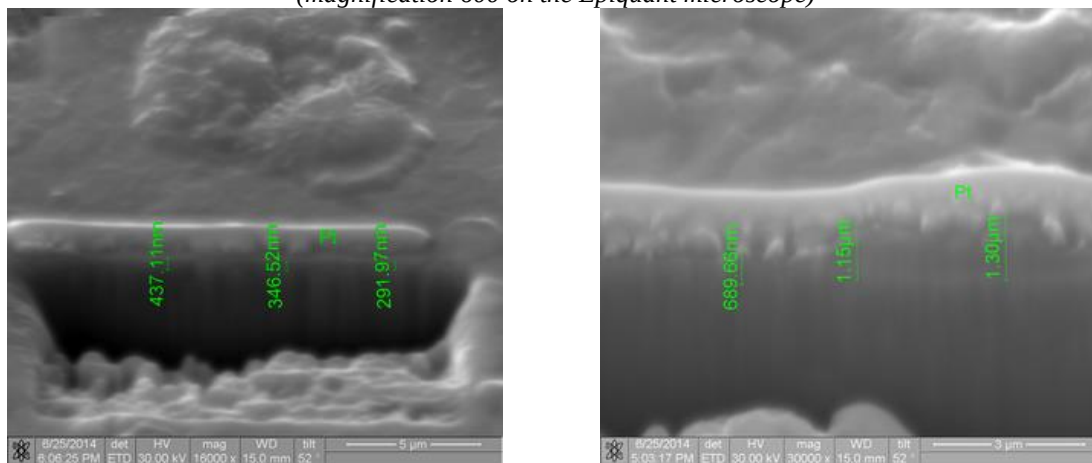


Figure 5 - Alloy coating thickness measured by Quanta 200 3D.

Figure: 1-5 confirm what was said above about surface laser alloying.

Surface layer thickness

In [18, 19], we proposed an empirical model of the surface layer of solids (Fig. 6).

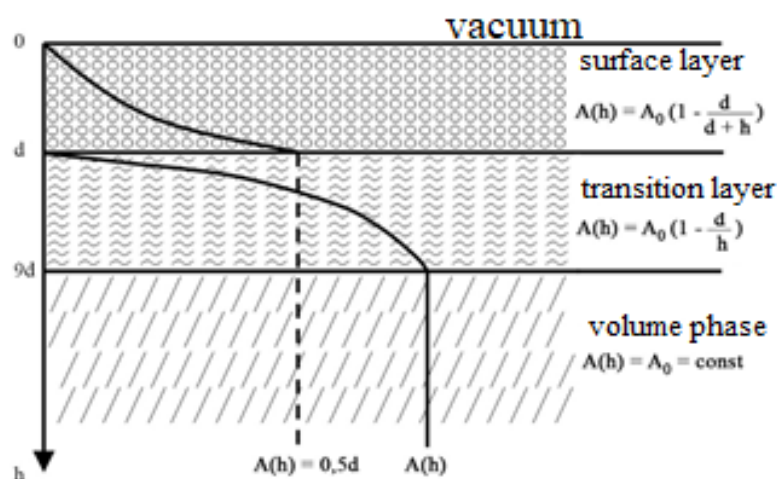


Figure 6 - Schematic representation of the surface layer [18]

The surface layer of an atomically smooth metal consists of two layers - d(I) and d(II). A layer with a thickness of $h = d$ is called layer (I), and a layer with

$h \approx 10d$ is called layer (II). At $h \approx 10d$, the dimensional dependence of the physical properties of the material begins to appear. At $h = d$, a phase transition occurs in the surface layer. To determine the thickness of the surface

layer of various compounds, we used the size dependence of the physical property $A(r)$ [18]:

$$A(r) = A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{r}\right), \quad r \gg d$$

$$A(r) = A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{d+r}\right), \quad r \leq d. \quad (1)$$

The parameter d is related to the surface tension σ by the formula [18]:

$$d = \frac{2\sigma v}{RT}, \quad (2)$$

Here σ is the surface tension of a massive sample; v is the volume of one mole; R is the gas constant; T -

temperature. It was shown in [18] that the following relation is fulfilled with high accuracy:

$$\sigma = 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot T_m, \quad (3)$$

where T_m is the melting point of the solid. The ratio is fulfilled for all metals and for other crystalline compounds. If we substitute it in (2), then at $T=T_m$ we get:

$$d(I) = 0.17 \cdot 10^{-9} v. \quad (4)$$

Equation (4) shows that the thickness of the surface layer $d(I)$ is determined by one fundamental parameter - the molar (atomic) volume of the element ($v = M/\rho$, M is the molar mass (g/mol), ρ is the density (g/cm³). As an example, in table. 1 shows the thickness of the surface layer $d(I)$ for d-metals, and table. 2 for lanthanides [22].

Table 1

Thickness of the surface layer of d - metals [22].

Me	d(I), nm	Me	d(I), nm	Me	d(I), nm	Me	d(I), nm
Sc	2,6	Ta	1,8	Fe	1,2	Pd	1,5
Y	3,4	Cr	1,2	Ru	1,4	Pt	1,6
Ti	1,7	Mo	1,6	Os	1,4	Cu	1,6
Zr	2,2	W	1,6	Co	0,7	Ag	1,7
Hf	2,3	Mn	1,3	Rh	1,4	Au	1,8
V	1,7	Tc	1,4	Ir	1,4	Zn	2,0
Nb	1,8	Re	1,3	Ni	1,1	Cd	2,2

Table 2

The thickness of the surface layer $d(I)$ of lanthanides [22].

Me	d(I), nm	Me	d(I), nm	Me	d(I), nm
Ce	3.8	Eu	5.8	Er	5.5
Pr	4.2	Gd	5.3	Tm	5.2
Nd	4.5	Tb	5.3	Yb	4.6
Pm	4.4	Dy	5.3	Lu	5.7
Sm	4.4	Ho	5.5	-	-

From table. 1 and 2, it can be seen that even the transition layer in lanthanides $d(II) \approx 10 d(I)$ does not exceed 100 nm, which is typical for nanostructures according to Glaitor [23]. Table 3 shows the thickness of the surface layer of some metal oxides, from which it

follows that the more complex the composition of the oxide, the greater the thickness of the surface layer $d(I)$, and even more $d(II)$, which exceeds the limit according to Glaitor [23]. For thicknesses $d(II)$, it can reach $\sim 1 \mu\text{m}$.

Table 3

Thickness of the surface layer $d(I)$ of some metal oxides

Metal oxide	Molar mass, g/mol	Density, g/cm ³	d(I), nm	d(II), nm
NaCu ₄ (AsO ₄) ₃	686,0	4,74	24,6	246
K ₃ Cu ₃ AlO ₂ (SO ₄) ₄	751,1	3,10	41,2	412
K ₄ Cu ₄ OCl ₁₀	781,1	2,78	47,8	478
NaCu ₅ O ₂ (SeO ₃) ₂ Cl ₃	1324,5	4,15	53,4	534
Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₂ Cl ₂	1440,0	2,85	86,0	860

To this must be added the dependence of the density on the porosity characteristic of steels and alloys. The existing nomenclature, adopted by the International Union of Theoretical and Applied Chemistry IUPAC, distinguishes three categories of pore size depending on their diameter: microporous < 2 nm, mesoporous 2-50 nm, and macroporous > 50 nm [24]. An important characteristic of silicon (Si) is the degree of its porosity P , defined as:

$$P = 1 - \rho_{\text{if}} / \rho_{\text{Si}}, \quad (5)$$

where $\rho_{\text{ПК}}$ is the density of porous silicon (ПК), ρ_{Si} is the density of a single crystal. If we substitute equation (5) into equation (4), we get:

$$d(I)_{\text{ID}} = d(I)_{\text{Si}} / (1 - P). \quad (6)$$

Typical porosity is 40-70%, and with supercritical drying [25] it reaches 95%. From equation (6) the following table follows table 4 [26]. From table 4 it follows that the porosity can increase the thickness of the surface layer by 5-6 times, which for metal oxides is $\sim 5-6 \mu\text{m}$ and is close to the diffusion mobility with surface laser alloying ($\sim 10 \mu\text{m}$, see above).

Thus, with surface laser alloying, it is necessary to monitor the molar mass of steel or alloy (the more M,

the better), and the density and porosity of steel or alloy (the less ρ , the better).

Table 4

Layer thickness at different values of porosity (Si) [26]

P, %	40	50	60	70	80	90
d(I) _{ПК} , nm	3,5	4,2	5,25	7,0	10,5	21
d(II) _{ПК} , nm	35	42	52,5	70	105	210

Diffusion mobility during laser alloying

The thickness of the surface layer, as we have seen, is mainly a nanostructure, the physical processes in which are different from the bulk. The same goes for diffusion. Of the huge number of publications, we will focus on review [27], where it is shown that the diffusion rate in nanostructures between agglomerates along their interfaces is much higher than the diffusion for nanograin boundaries. This means that the activation energy for such a process should be much lower. For simplicity and comparison, we restrict ourselves to the stationary case of one-dimensional diffusion. Then the diffusion equation (c is the concentration of atoms, ions, or molecules) will have the form:

$$\frac{d}{dx} \left(D(x) \frac{dc}{dx} \right) = 0. \quad (7)$$

In the classics $D(x) = \text{const}$, but in ours - $D = D_0(1 - \alpha/\alpha + x)$ (formula 1). Here we have replaced d with α to avoid confusion with the differentiation sign. Taking into account the size effect, equation (7) is reduced to the form:

$$\frac{d^2c}{dx^2} - \frac{\alpha}{x^2} \frac{dc}{dx} = 0. \quad (8)$$

Here we took into account that $(1 - \alpha/\alpha + x) \approx \exp(-\alpha/\alpha + x)$. If $D = \text{const}$ in (7), then we have a classical solution to the problem:

$$c_1(x) = C_1x + C_2. \quad (9)$$

The final solution to problem (8) will take the form:

$$c(x) = (\tilde{N}_1 - \tilde{N}_2)(\tilde{\sigma} - d \ln x) \quad (10)$$

Equation (10) differs from the classical solution (9) by the presence of the parameter $d = 2\sigma_0/RT$ (formula 2), i.e. diffusion mobility in a nanostructure depends on surface tension (surface energy). Determination of the surface energy of solids presents great difficulties, since the surface atoms are immobile [28-30]. However, it is possible to estimate σ using formula (3): $\sigma = 0.7 \cdot 10^{-3} T_m$, where T_m is the melting temperature of steel or alloy, which is easy to measure.

Thermal conductivity of steel and alloys during laser alloying

Since a laser is used in this case, problems arise in the thermophysical properties of nanostructures. Heat transfer through nanostructures will differ significantly from the corresponding processes inside macroscopic bodies. Various research methods are applied to such objects, both theoretical and experimental [31-33].

Equations (1) obtained by us, in addition to the universality of describing the properties of nanostructures,

including thermophysical ones, are of exceptional importance for the analysis of subtle effects in thermal physics. In [34], we analyzed the thermal conductivity of nanostructures. For metallic nanostructures, the issues of thermal conductivity are essentially similar to the mechanism of electrical conductivity of the metal. The kinetic approach to the electrical conductivity of a metal is based on the Boltzmann equation. Moreover, the metal is considered as a gas of free electrons, the scattering of which by phonons, defects, etc. and ultimately leads to the appearance of electrical conductivity. Electrons are also responsible for thermal conductivity in metals, so there is a relationship between these quantities, which is given by the well-known Wiedemann-Franz law. Equations (1) have a universal character and are valid for the size dependence of many properties of nanostructures, including thermophysical ones. Λ was calculated using a formula similar to (1). It can be seen from the calculations that the thermal conductivity coefficients of metals with a size of 1 nm decrease by a factor of 2 in comparison with bulk samples, and at a size of 50 nm they already differ little from the latter [34].

Conclusions and further research prospects

The properties of laser surface alloying are directly related to the thickness of the surface layer, which is a nanostructure. Therefore, all its properties - the diffusion mobility of alloying elements, thermophysical properties, etc. - are determined by the properties of the nanostructure, which is different from the properties of the macrostructure. Further research prospects are associated with the study of physical and chemical processes in nanostructures of various compositions.

REFERENCES:

- 1 Yurov V.M. Influence of laser radiation on the structure and properties of multi-element coatings // LXXII International scientific readings (in memory of N.G. Basov): collection of articles of the International scientific and practical conference. - Moscow: EFIR, 2020. - P. 10-16.
- 2 Grigoryants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. Technological processes of laser processing. - M.: Publishing house of MSTU, 2006. - 664 p.
- 3 Biryukov V. Surface modification using laser radiation // Photonics, 2010, no. 3 - P. 18-22.
- 4 Shelyagin V.D., Markashova L.I., Khaskin V.Yu., Bernatsky A.V., Kushnareva O.S. Laser and laser-microplasma alloying of the surface of samples from steel 38HN3MFA // Automatic welding, 2014, No. 2. - P. 26-32.
- 5 Besogonov V.V., Burnyshev I.N., Lys V.F. About modification by laser radiation of the surface of

metallic materials with diffusion and electrospray coatings // *Chemical Physics and Mesoscopy*, 2015, Volume 17, No. 1. - P. 91-96.

6 Kovalchuk A.G., Yamshinsky M.M., Fedorov G.E. Investigation of the processes of heat-resistant surface alloying of castings // *Bulletin of Donbass State Machine-Building Academy*, 2017, No. 2(41). - P. 44-49.

7 Golubev V.S., Vegeera I.I., Chernasheyus O., Chaevsky V.V. Laser processing of materials with a change in the chemical composition of the surface layer // *Bulletin of BarSU*, 2019, No. 7. - P. 34-42.

8 Gladush G.G., Smurov I. *Physics of Laser Materials Processing: Theory and Experiment*. - Springer-Verlag, Berlin, 2011. - 534 p.

9 Zhang Y., Lu J., Luo K. *Laser Shock Processing of FCC Metals: Mechanical Properties and Micro-structural Strengthening Mechanism* - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. XI, - 194 p.

10 Yilbas B.S., Shuja S.Z. *Laser Surface Processing and Model Studies*. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. IX. - 147 p.

11 Brandt M. *Laser Additive Manufacturing Materials, Design, Technologies, and Applications*. - Woodhead Publishing, 2017. - 479 p.

12 Bernatsky A.V. Laser surface alloying of steel products (Review) // *Automatic welding*, 2013, No. 12. - P. 3-10.

13 Shmorgun V.G., Slautin O.V., Serov A.G., Novikov R.E. Local alloying of titanium with copper // *Izvestia VolgGTU*, 2020, No. 1. - P. 12-16.

14 Smirnova N.A. Development and research of processes of hardening of the surface of aluminum alloys by laser radiation. - Thesis. candidate of those. Sciences, Moscow, 2000. - 135 p.

15 Htet Aung Liin. Development of technology for laser processing of steels with combined heating sources to increase the efficiency of the process. - Thesis. candidate of those. Sciences, Moscow, 2018. - 172 p.

16 Pivovarov P.A. The role of multi-pulse effects in the processes of laser ablation and pre-ablative modification of materials with short pulses, - Dissertation. candid. physical-mat. sciences, Moscow, 2019. - 163 p.

17 Nguyen Van Luong. Laser nano / microstructuring and super-doping of silicon surfaces with sulfur impurities. - Thesis. candidate phys.-mat. Sciences, Moscow, 2018. - 126 p.

18 Yurov V.M., Guchenko S.A., Laurinas V.Ch. The thickness of the surface layer, surface energy and atomic volume of an element // *Physicochemical aspects of studying clusters, nanostructures and nanomaterials*, 2018, Vol.10. - P. 691-699.

19 Yurov V.M. The thickness of the surface layer of atomically smooth crystals // *Physicochemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials*, 2019, Vol. 11. - P. 389-397.

20 Czerwinski F. Thermochemical Treatment of Metals. - 2012. - P. 73-112 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.5772/51566>

21 Chudina O. Modification of Steel Surface Using the Laser // *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 2014, № 4. - P. 181-188.

22 Yurov V.M. The inverse Hall-Petch effect in atomically smooth metals // *LXVI International Scientific Readings (in memory of L. D. Landau): collection of articles of the International Scientific and Practical Conference (Moscow, 22.02.2020)*. - Moscow: EFIR, 2020. - P. 17-22

23 Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // *Acta mater.*, 2000, V.48. - P. 1-29.

24 Korotcenkov G.. *Porous Silicon: From Formation to Application: Formation and Properties*, Vol. 1, CRC Press, 2015. - 423 p.

25 Lehmann V., Ronnebeck S. The Physics of Macropore Formation in Low-Doped p-Type Silicon // *Journal of The Electrochemical Society*, 1999, V. 146, №. 8. - P. 2968-2975.

26 Yurov V.M. The thickness of the surface layer of porous silicon // *Bulletin of KazNU im. al Farabi*, 2020, no. 1(72). - P. 60-66.

27 Divinsky S.V., Zakharov S.M., Shmatko O.A. Grain-boundary diffusion and segregation in sintered nanocrystalline materials with a hierarchical structure // *Uspekhi fiziki metallov*, 2006, vol. 7. - P. 1-39.

28 Zhevnenko S.N. Surface energy and phase transitions on surfaces in two-component systems based on metals of the copper subgroup. - Thesis. doctors phys.-mat. Sciences, Moscow, 2018. - 231 p.

29 Gudieva O.V. Surface properties and ionic transfer in metallic and dielectric nanostructures. - Thesis. candidate phys.-mat. Sciences, Nalchik, 2018. - 130 p.

30 Yurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A., Zavatskaya O.N. Surface tension of hardening coatings // *Strengthening technologies and coatings*, 2014, No. 1. - P. 33-36.

31 Dmitriev A.S. Thermal processes in nanostructures. - M.: Ed. house MEI, 2012. - 302 p.

32 Fisher T.S. *Thermal Energy at the Nanoscale*. - Singapore: World Scientific, 2013. - 171 p.

33 Khvesyuk V.I., Skryabin A.S. Thermal conductivity of nanostructures // *High Temperature Thermal Physics*, 2017, Volume 55, No. 3. - P. 447-471.

34 Yurov V.M., Guchenko S.A., Laurinas V.Ch. Thermal conductivity coefficient of nanostructures // *Innovative Science*, No. 5, 2019. - P. 10-14.

TECHNICAL SCIENCES

MAXIMUM FLOW PROBLEM IN DELAY TOLERANT NETWORKING

Babeniuk G.

*Phd, Department of Aeronavigation of National Aviation University,
Kyiv, Ukraine*

DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-41-42](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-41-42)

Abstract

Nowadays, Internet become very popular because all people around the world can communicate with each other, delivering internet access to different areas around the world is major point, and major challenge because sometimes is extremely hard to extend network in remote areas as well as extremely expensive. In order to extend network in remote areas satellite constellations like OneWeb, Orbcomm, RapidEye are used. Satellite constellations are based on the integration of LEO satellites and Delay Tolerant Networking (DTN) technologies. In order to forward some data over DTN the maximum possible flow of the network should be known, in order to avoid data losses. In the given article different algorithms for solving the maximum flow problem are represented.

Keywords: remote areas, Delay Tolerant Networking, maximum flow problem.

Introduction

Searching for a maximum flow value in optimization theory is strongly motivated by its practical meaning nowadays. Several applications deal mainly with the transportation of different resources (formally defined as flow) from a particular source to a particular target. As usually, graphs can be used to formulate mathematical models for many different applications. One particular type of problem deals with networks that transport some kind of resource from one endpoint to another (think water, electricity, or data). Thus, this type of model is called flow problem. A flow problem is defined by the graph representing the network structure (annotated with some more information). For every edge of the graph it is necessary to specify the maximum amount of resource that can be forwarded along this edge - its capacity (channel capacity is the tight upper bound on the rate at which information can be reliably transmitted over a communications channel). It is also necessary to pick a source and a target node (destination node) for the flow.

A solution of a flow problem can be represented as assignment of how much flow should move along each edge. A valid flow should fulfill two constraints: every edge can carry at most its full capacity. Furthermore, when aggregating the flow through a node of the network, the incoming and outgoing flow has to be the same at all nodes (except the source and the target).

The most basic flow problem is that of finding the maximum possible flow: how much resources can be forwarded from one node to another.

Main part

Linear programming

Linear programming is a method to achieve the best outcome in a mathematical model whose requirements are represented by linear relationships. Linear programming is a special case of mathematical optimization.

Linear programming is a technique for the optimization of a linear objective function, subject to linear equality and linear inequality constraints.

It's feasible region represented as convex polytope, which is a set defined as the intersection of finitely

many half spaces, each of which is defined by a linear inequality. Its objective function represented as real-valued affine (linear) function defined on this polyhedron. A linear programming algorithm finds a point in the polyhedron where this function has the smallest or highest value if such a point exists. Linear programs can be expressed in canonical form:

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } c^T x \\ &\text{Subject to } Ax \leq b \\ &\text{And } x \geq 0 \end{aligned}$$

where x represents the vector of variables, C and b are vectors of coefficients, A is a matrix of coefficients, and $(\cdot)^T$ is the matrix transpose. $\begin{aligned} &\begin{aligned} &\text{Maximize } c^T x \\ &\text{Subject to } Ax \leq b \\ &\text{And } x \geq 0 \end{aligned} \end{aligned}$ The expression to be maximized or minimized can be called the objective function ($c^T x$ in this case). The inequalities $Ax \leq b$ and $x \geq 0$ are the constraints which specify a convex polytope over which the objective function should be optimized. In this context, two vectors can be comparable when they have the same dimensions. If every entry in the first is less-than or equal-to the corresponding entry in the second it means that the first vector is less-than or equal-to the second vector.

Linear programming is a widely used field of optimization for several reasons, many practical problems in operations research can be expressed as linear programming problems. Certain special cases of linear programming (such as network flow problems and multi commodity flow problems) are considered important enough to have generated much research on specialized algorithms for their solution, a number of algorithms for other types of optimization problems work by solving LP problems as sub-problems [3].

Ford-Fulkerson's algorithm

The Ford-Fulkerson's algorithm computes a maximum flow in iterative manner by starting with a valid

flow, and then making adjustments that fulfill the constraints and increase the flow.

An important concept to understand is that the algorithm is the residual graph, this is a graph generated by calculating how the flow along each edge can be modified - each edge in the network graph is replaced by up to two new edges, a forward edge with the same direction that signifies how much the flow can be increased, and a backward edge storing how much the flow can be reduced.

The algorithm starts with a empty flow and then repeatedly finds paths in the residual graph from source to target, adding just enough flow along the path to saturate one edge, which is the one with the lowest capacity, keeps the constraints on the flow fulfilled and strictly increases the flow, these are called augmenting paths. The Ford-Fulkerson's method does not explicitly state how to find the augmenting paths, and works with and path finding algorithm, however, the choice of strategy has an impact on the runtime of the algorithm [1,2].

Edmonds–Karp's algorithm

Edmonds–Karp's algorithm is an implementation of the Ford–Fulkerson's algorithm for computing the maximum flow value in a flow network in $O(VE^2)$ time.

The algorithm is similar to the Ford–Fulkerson method, except that the searches order when finding the augmenting path is defined, the path found must be a shortest path that has available capacity. This can be defined by a breadth-first search, where we apply a weight of 1 to each edge. The running time of $O(VE^2)$ is found by showing that each augmenting path can be found in $O(E)$ time, that every time at least one of the E edges becomes saturated, that the distance from the saturated edge to the source along the augmenting path must be longer than last time it was saturated, and that the length is at most V , another property of this algorithm is that the length of the shortest augmenting path increases monotonically [4].

Push–relabel algorithm

Push–relabel algorithm is an algorithm used for computing maximum flows; the name "push–relabel" comes from the two basic operations used in the algorithm: throughout its execution, the algorithm maintains a "pre flow" and gradually converts it into a maximum flow by moving flow locally between neighboring nodes using push operations under the guidance of

an admissible network maintained by relabel operations, in comparison with the Ford–Fulkerson's method it performs global augmentations that send flow following paths from the source all the way to the sink.

The push–relabel algorithm can be considered as one of the most efficient maximum flow algorithms. The generic algorithm has a strongly polynomial $O(V^2E)$ time complexity, which is more efficient than the $O(VE^2)$ Edmonds–Karp algorithm; specific variants of the algorithms achieve even lower time complexities. This variant based on the highest label node selection rule has $O(V^2\sqrt{E})$ time complexity and is generally regarded as the benchmark for maximum flow algorithms. Sub cubic $O(VE \log(V^2/E))$ time complexity can be achieved using dynamic trees, but in practice it is less efficient. The push–relabel algorithm has been extended to compute minimum cost flows; the idea of distance labels has led to a more efficient augmenting path algorithm, which in turn can be incorporated back into the push–relabel algorithm to create a variant with even higher empirical performance [5].

Conclusion

After detailed analysis of the existing algorithms can be conclude that Ford-Fulkerson's algorithm is the simplest one and the most efficient. In the future developments is recommended to use Ford-Fulkerson's algorithm for effective data scheduling in Delay Tolerant Networking protocols.

REFERENCES:

1. Ford, L. R.; Fulkerson, D. R. (1956). "Maximal flow through a network". *Canadian Journal of Mathematics*.
2. Ford, L.R., Jr.; Fulkerson, D.R., *Flows in Networks*, Princeton University Press (1962)
3. Gerard Sierksma (2001). *Linear and Integer Programming: Theory and Practice*, Second Edition. CRC Press. p. 1. ISBN 978-0-8247-0673-9.
4. Dinic, E. A. (1970). "Algorithm for solution of a problem of maximum flow in a network with power estimation". *Soviet Mathematics - Doklady*. Doklady. 11: 1277–1280.
5. Cormen, T. H.; Leiserson, C. E.; Rivest, R. L.; Stein, C. (2001). "§26 Maximum flow". *Introduction to Algorithms* (2nd ed.). The MIT Press. pp. 643–698. ISBN 0262032937.

**MODELING AND DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM FOR SODIUM NITRATE
EVAPORATION PROCESS****Melnyk M.***Master Automation Hardware and Software Department
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine***Beznosyk Yu.***Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professors
Automation Hardware and Software Department
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine***Bugaieva L.***Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professors
Automation Hardware and Software Department
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine***МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ
ВИПАРЮВАННЯ НІТРАТУ НАТРІЮ****Мельник М.А.***Магістр кафедри Технічних та програмних засобів автоматизації,
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна***Безносик Ю.О.***Кандидат технічних наук, доцент кафедри Технічних та програмних засобів автоматизації,
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна***Бугаєва Л.М.***Кандидат технічних наук, доцент кафедри Технічних та програмних засобів автоматизації,
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-43-48](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-43-48)**Abstract**

The process of evaporation of sodium nitrate is considered. The scheme of automation of the three-hull evaporation unit was developed and the basic parameters of the coreing were determined. The optimal controller is selected and the transfer function is calculated.

Анотація

Розглянуто процес випарювання нітрату натрію. Розроблена схема автоматизація трьохкорпусної випарної установки та визначено основні параметри керування. Вибрано оптимальний регулятор та розраховано передавальну функцію.

Keywords: computer simulation, automation, process of evaporation of sodium nitrate, transfer function of the regulator

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, автоматизація, процес випарювання нітрату натрію, передавальна функція регулятора

Вступ. У виробництві, нітрат натрію отримують випарюванням і кристалізацією після інверсії нітриту. Випарювання як процес концентрування розчинів твердих нелетких речовин шляхом часткового випаровування розчинника при кипінні рідини є енергоємним і небезпечним. Система автоматизації потрібна для керування технологічним процесом випарювання і класифікації розчину на різних стадіях, а також для безперервного вимірювання, контролю і регулювання технологічних параметрів та діагностики стану обладнання [1]. Система автоматичного регулювання повинна забезпечити не тільки отримання кінцевого продукту заданої концентрації, але і стабілізацію параметрів вторинної пари при мінімально можливій витраті грюючої пари [1].

Мета керування процесом випарювання полягає в отриманні розчину заданої концентрації, а також у підтримці матеріального і теплового балансів.

Об'єктом керування є випарна установка, на виході з якої отримуємо готовий продукт потрібної концентрації. Концентрація упареного розчину залежить від витрати, концентрації і температури вихідного розчину, витрати і тиску грюючої пари, тиску в випарних апаратах.

Система автоматизації передбачає контроль за концентрацією розчинів в кожному корпусі, тиску грюючої пари, температури початкового розчину, тиску в кожному корпусі установки [1].

Аналіз технологічної схеми процесу випарювання нітрату натрію. Витрату пари на випарювання можна значно знизити, якщо проводити процес в багатокорпусній випарній установці. Як вказувалося, принцип дії її зводиться до багаторазового використання тепла пари, що гріє, що надходить в перший корпус установки, шляхом обігріву кожного наступного корпусу (крім першого) вторинним паром з попереднього корпусу [1]. Схема трикорпусної випарної установки із прямотечійним живленням корпусів показана на рис. 1.

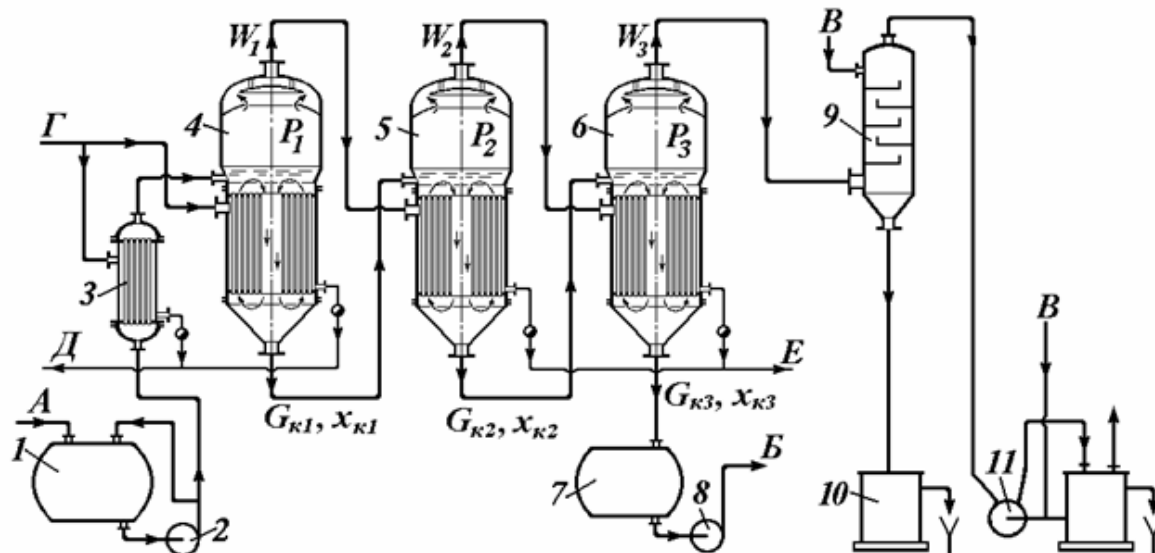


Рис. 1 – Принципова схема трикорпусної випарної установки із прямотечійним живленням корпусів: А - вихідний (початковий) розчин; Б - випарений розчин; В - вода; Г - гріюча пара; Д - конденсат гріючої пари; Е - конденсат сокової пари; 1, 7 - збірник розчину; 2, 8 - насос; 3 - підігрівник розчину; 4, 5, 6 - випарний апарат; 9 - конденсатор барометричний; 10 - барометричний ящик; 11 - вакуум-насос

Необхідною умовою передачі тепла в кожному корпусі повинно бути наявність деякої корисної різниці температур, яка визначається різницею температур пари, що гріє і киплячого розчину. Разом з тим, тиск вторинної пари в кожному попередньому

корпусі повинно бути більше його тиску в подальшому. Ці різниці тисків створюються при надмірному тиску в першому корпусі, або вакуумі в останньому корпусі, або ж при тому і іншому одночасно [1]. Структурна схема процесу випарювання представлена на рис. 2 [2].

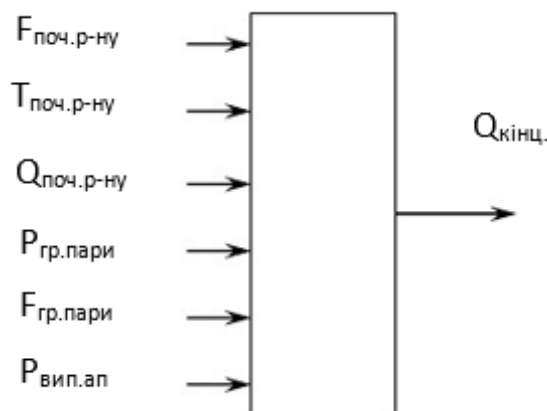


Рис. 2 – Структурна схема процесу випарювання:

$F_{\text{поч.р-ну}}$ – витрата початкового розчину нітрату натрію, $T_{\text{поч.р-ну}}$ – температура початкового розчину нітрату натрію, $Q_{\text{поч.р-ну}}$ – концентрація початкового розчину нітрату натрію, $P_{\text{гр.пари}}$ – тиск гріючої пари, $F_{\text{гр.пари}}$ – витрата гріючої пари, $P_{\text{вип.ап}}$ – тиск у випарному апараті, $Q_{\text{кінц.}}$ – концентрація упареного розчину нітрату натрію.

Постановка задачі дослідження. На основі проведеного аналізу були поставлені наступні задачі:

- спроектувати систему автоматизації для заданої технологічної схеми та обрати основні технічні засоби автоматизації;
- проаналізувати основні залежності та виділити вхідні параметри, які впливають на систему;
- розробити алгоритм розрахунку системи;
- створити програмне забезпечення для розрахунку параметрів установки, на основі математичної моделі та алгоритму розрахунку;
- проаналізувати вплив параметрів на систему та обрати параметр, яким необхідно керувати;
- для обраного параметру керування скласти математичну модель для ПІ-регулятора;
- розрахувати оптимальні налаштування ПІ-регулятора та перевірити систему на стійкість.

Визначення параметрів автоматизації. Розроблена схема автоматизації процесу отримання нітрату натрію включає в себе 1 контур контролю і регулювання витрати, 3 контури контролю і регулювання температури, 4 контури показання та контролю концентрації, 4 контури показання та контролю тиску, 4 контури показання та сигналізації рівня. Підібрано засоби автоматизації згідно технічного регламенту [2-3].

Математичне моделювання багатокорпусної випарної установки. Математичне моделювання випарних установок проводять з урахуванням наступних припущень [4]:

- кількості газів, що не конденсуються, і конденсату, що збирається внизу гріючої камери, дорівнюють нулю,
- об'єми пари і гріючої камери рівні,
- пара в гріючій камері знаходиться в стані насичення,
- елементи гріючої камери вважаються модами з зосередженими параметрами,
- накопичення теплоти в стінках труб випарної установки не враховуються,
- витрати у навколишнє середовище не враховуються,
- розчин надходить в апарат підігрітим до температури кипіння,
- щільність і теплоємність розчину не залежать від температури,
- розчин, що надходить в апарат, миттєво і рівномірно переміщується з наявною в апараті рідиною,
- маса пари у паро-рідинному просторі значно менша за масу рідини,
- винесення рідини з парою не враховується.

Математична модель статички процесів, що протікають в багатокорпусній випарній установці, представлена на рис. 1, буде вміщати [1,4]:

- рівняння теплового балансу:
У гріючій камері: $W_{i-1}i_{pi-1} - W_{i-1}i_{ki} - Q_i = 0$;
У паро-рідинному просторі:

$$Q_i + S_{i-1} \cdot c_{ji-1} \cdot t_{ji-1} - S_i \cdot c_{ji} \cdot t_{ji} - W_i \cdot i_{pi} = 0$$

- рівняння матеріального балансу в паро-рідинному просторі: $S_i = S_{i-1} - W_i$.

- рівняння покомпонентного матеріального балансу в паро-рідинному просторі: $b_{i-1} \cdot S_{i-1} - b_i \cdot (S_{i-1} - W_i) = 0$.

Наведені вище формули, будуть слугувати для розробки програмного забезпечення та проведення розрахунків.

Програмний модуль для розрахунку багатокорпусної випарної установки. Обчислювальний модуль реалізований на мові C# в середовищі Visual Studio. Він призначений для спрощення та автоматизації розрахунків параметрів та розмірів випарного апарату. Обчислювальний модуль призначений для розрахунку:

- кількості випареної води по корпусам;
- концентрації розчину в різних корпусах;
- тиску гріючої пари;
- гідростатичної та температурної депресії;
- теплового балансу випарювання;
- витрати теплоти на випарювання;
- поверхні теплопередачі випарних апаратів;
- основних розмірів випарного апарату.

Програмний модуль призначений для розрахунку процесу випарювання нітрату натрію в багатокорпусній випарній установці. Головне вікно програми: тема, мета, об'єкт керування, вигляд готового продукту, основна інформація про нього, застосування, фізичні властивості. На наступній вкладці представлено технологічну схему отримання натрієвої селітри, описано технологічний процес та позначення апаратів.

На рис. 3 зображена головна вкладка з роботою програми. Для початку роботи, на вкладці «розрахункова частина» необхідно ввести дані про початкову концентрацію розчину, концентрацію розчину на виході, тиск гріючої пари, тиск в барометричному конденсаторі та натиснути «Запуск розрахунку». Після цього в частині для введення проміжних даних з'являться дані тиску, для якого потрібно ввести табличне значення температури, за знайденими значеннями вторинної пари задати значення тиску, по знайденим значенням тиску в середньому шарі кип'ятільних труб, задати температуру та теплоту випарювання та натиснути «Продовжити розрахунок».

Система автоматизації процесу випарювання нітрата натрію

Файл Зберегти Очистити дані Проміжні результати розрахунку Блок-схема програми Довідка Вихід

Загальна інформація Технологічна схема Розрахункова частина **Результати обчислень**

Введення початкових даних
3-х корпусна випарна установка



Кількість розчину на вході 10000 Кг/год
Початкова концентрація розчину 10 %
Кінцева концентрація розчину 27 %
Тиск гріючої пари 0,392 Мпа
Тиск в барометричному конденсаторі 0,019 Мпа

Запуск розрахунку

Введення додаткових даних
По знайденим значенням тиску гріючої пари в кожному корпусі, задайте табличне значення температури:

Тиск:	Температура:
Pr1 0,392 Мпа	tr1 142,9 °C
Pr2 0,268 Мпа	tr2 132,9 °C
Pr3 0,144 Мпа	tr3 108,7 °C
Pbk 0,0197 Мпа	tbk 59,7 °C

По знайденим значенням температури вторинної пари задамо табличне значення:

Температура:	Тиск:
tвп1 133,9 °C	Pвп1 0,3131 Мпа
tвп2 109,7 °C	Pвп2 0,1433 Мпа
tвп3 60,7 °C	Pвп3 0,0199 Мпа

По знайденим значенням тиску, в середньому шарі кип'ятільних труб, задамо табличне значення температури кипіння і теплоти випарювання:

Тиск:	Температура:	Теплота випарювання
Rcp1 323567,27 Па	tcp1 132,9 °C	rвп1 2171 КДж/кг
Rcp2 154512,83 Па	tcp2 112,7 °C	rвп2 2227 КДж/кг
Rcp3 31760,29 Па	tcp3 68,7 °C	rвп3 2336 КДж/кг

Продовжити розрахунок

Рис. 3 – Вікно розрахункової частини програми

На вкладці «Результати обчислень» з'являться розраховані значення по корпусам (рис.4).

Система автоматизації процесу випарювання нітрата натрію

Файл Зберегти Очистити дані Проміжні результати розрахунку Блок-схема програми Довідка Вихід

Загальна інформація Технологічна схема Розрахункова частина **Результати обчислень**

Результати роботи програмного модулю

Параметр	Корпус		
	1	2	3
Продуктивність по випарюваній воді ω , кг/с	0,628	0,567	0,554
Концентрація розчинів x , %	12,67	17,24	27,00
Тиск гріючої пари P_r , 10^4 Па	39,2	26,7	14,2
Температура гріючої пари t_r , °C	142,9	132,9	108,7
Температура кипіння розчину t_k , °C	136,4	112,7	72,3
Корисна різниця температур Δt_n , град	6,5	17,4	36,4
Теплове навантаження Q , кВт	1413	1404	1337
Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ² *K	1586,89	853,43	537,4
Поверхня теплопередачі, м ²	83,31	83,31	83,31

Розрахункова поверхня теплопередачі випарних апаратів складає: $F=83,31$ м². По ДСТУ 11987-81 вибираємо випарний апарат з наступними характеристиками: номінальна поверхня теплообміну 100 м², діаметр труб 38х2 мм, висота труб 4000 мм, діаметр гріючої камери 1000 мм, діаметр сепаратора 1800 мм, діаметр циркуляційної труби 600 мм, загальна висота апарату 13000 мм, маса апарату 8500 кг.

Рис. 4 – Результати обчислень

Для отримання результатів розрахунку проміжних значень кожного параметру, необхідно натиснути кнопку «Проміжні результати розрахунку» на панелі меню. Після чого з'явиться форма «Результати розрахунку». Також можна зберегти результати обчислень, або повернутися до головної форми.

Розрахунок системи автоматичного керування. Об'єктом керування є управління концентрацією упареного розчину. Параметром який кон-

тролюється є відкриття шибера за допомогою приводу, який регулює подачу вихідного розчину нітрата натрію. Всі процеси описуються диференціальними рівняннями, то об'єкт є астатичним, тобто керуюча величина по закінченню перехідного процесу буде дорівнювати заданому значенню. Функціональна схема керування представлена на рис. 5 з відповідними передавальними функціями [4. 5].

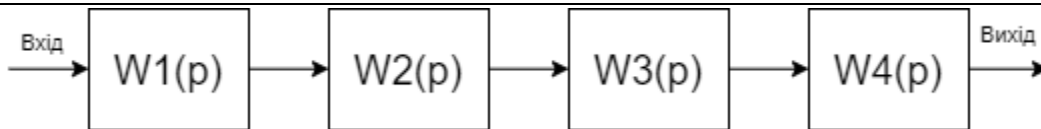


Рис. 5 – Функціональна схема керування

Переміщення заслонки проходить майже миттєво, тому регулюючий орган безінерційна ланка. Передавальна функція має такий вигляд:

$$W_1(p) = k_1 e^{-\tau p}$$

Друга ланка – підсилювач, описується безінерційною ланкою, тому що його постійною часу можна знехтувати:

$$W_2(p) = k_2$$

Виконавчий механізм (електропривод) описується аперіодичною ланкою першого порядку і має коефіцієнт передачі, який відрізняється від одиниці, і достатньо велику постійну часу:

$$W(p) = \frac{W_1(p) + W_2(p) + W_3(p) + W_4(p)}{1 + W_1(p) + W_2(p) + W_3(p) + W_4(p)}$$

Моделювання перехідного процесу виробляємо із застосуванням пакета MATLAB (Simulink). Модель об'єкта представлена на рис. 6.

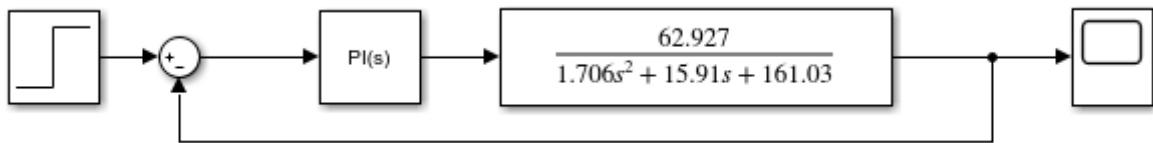


Рис. 6 – Модель об'єкта керування в MATLAB Simulink

Графік перехідного процесу зображений на рис. 7.

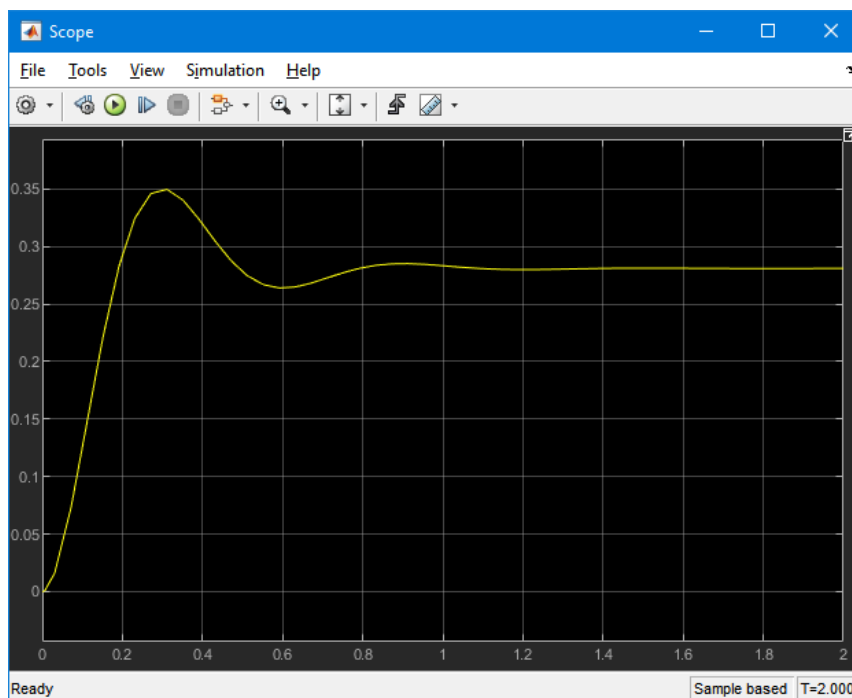


Рис. 7 – Перехідний процес

Заключним етапом є вибір такого типу регулятора, який при мінімальній вартості і максимальної

надійності забезпечував би задану якість регулювання. Для нашого випадку, цим критерієм

відповідає ПІ-регулятор [4]. Після визначення оптимальних налаштувань регуляторів необхідно розрахувати та побудувати перехідний процес в замкнутій системі керування за каналом «завдання – вихід» при отриманих оптимальних параметрах налаштування заданих регуляторів. Побудова перехідного процесу є останнім етапом дослідження автоматичної системи. За отриманим графіком перехідного процесу можна наочно визначити основні показники якості процесу регулювання.

Висновки. Розроблено програмний модуль та розраховано основні параметри процесу випарювання у багатокорпусній випарній установці. Розроблено систему автоматизації процесу випарювання нітрату натрію для трьохкорпусної випарної установки з прямотечійним живленням корпусів. Визначено основні параметри керування для забезпечення мети керування процесом випарювання. Визначено об'єкт керування та розроблено функціональну схему управління. В якості регулятора обрано ПІ-регулятор, підібрані оптимальні налаштування регулятора та визначено передавальну функцію автоматичного керування по каналу вхід-вихід.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Таубман Е. И. Расчёт и моделирование выпарных установок. Москва: Химия, 1979. 216 с.
2. Бугаєва Л. М., Бойко Т. В., Безносик Ю. О. Системний аналіз хіміко-технологічних комплексів: підручник. Київ, Інтерсервіс, 2017. 254 с.
3. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування. Вінниця, ВНТУ, 2012. 308 с.
4. Мельник М. А., Безносик Ю. О., Бугаєва Л. М. Розробка системи автоматизації процесу виробництва нітрату натрію. Контроль і управління в складних системах (КУСС-2020). XV Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 8-10 жовтня 2020 року. Вінниця: ВНТУ. 2020. с. 153-155.
5. Пшеничний М. Л., Безносик Ю. О., Бугаєва Л. М. Конструювання автоматизації складних технологічних об'єктів з урахуванням систем адаптивного керування. Контроль і управління в складних системах (КУСС-2020). XV Міжнародна конференція. Тези доповідей. Вінниця, 8-10 жовтня 2020 року. Вінниця: ВНТУ. 2020. с. 20-22.

ADVANCED DATA PROCESSING TECHNOLOGY FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

Kikin I.

*Ph. D., head of laboratory,
State Research Institute of Aviation Systems,
State Scientific Center of Russian Federation,
Moscow, Russia*

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Кикин И.С.

*к.т.н., заведующий лабораторией,
Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем,
Государственный научный центр Российской Федерации, Москва, Россия
DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-48-54](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-48-54)*

Abstract

A data processing technology is presented that to obtain information of a new quality on the control target state. A supporting rationale is provided for the method of autonomous estimation of the control target state coordinates, the accuracy of which does not depend on the automatic control system sensor errors. An algorithmic implementation of the method is proposed – an algorithm for retrospective control target state estimation by processing the data array obtained in the process of passive data accumulation on the observation interval of the object's normal functioning. At the final stage of the algorithm, the implemented control process is simulated with complete a priori information about the conditions for its implementation. The algorithm execution time should be negligible in relation to the observation interval duration.

Аннотация

Представлена информационная технология обработки данных для получения информации нового качества о состоянии объекта управления. Обоснован метод автономного оценивания координат состояния объекта, точность которого не зависит от ошибок датчиков системы автоматического управления. Предложена алгоритмическая реализация метода – алгоритм ретроспективного оценивания состояния объекта управления в результате обработки массива данных, полученного в процессе пассивного накопления информации на интервале наблюдения нормального функционирования объекта. На завершающем этапе алгоритма осуществляется имитация реализованного процесса управления при полной априорной информации об условиях его реализации. Временная протяженность исполнения алгоритма должна быть пренебрежимо мала по отношению к длительности интервала наблюдения.

Keywords: information technology, information and control system, identification, simulation model, simulation estimation method, measurement errors correction, instant a posteriori estimation, normal functioning mode.

Ключевые слова: информационная технология, информационно-управляющая система, идентификация, имитационная модель, имитационный метод оценивания, коррекция ошибок измерений, мгновенное апостериорное оценивание, режим нормального функционирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (проект № 19-08-00752А)

Введение

Одна из главных задач информационного обеспечения процесса автоматического управления динамическим объектом – оценивание состояния и параметров динамической системы по результатам измерений ее входных и выходных переменных. Указанная задача относится к числу центральных задач идентификации систем управления [1, с. 17]. Рассматриваемая в статье проблема не связана с совершенствованием методов и средств идентификации, несмотря на то, что ключевой элемент ее решения относится к задаче идентификации. Предложена **системная методология**, которая использует идентификационный процесс для решения новой актуальной задачи управления. Новая задача – формирование оценок координат состояния объекта управления (ОУ), инвариантных к погрешностям измерений вектора выхода объекта. Результат ее решения – новая информационная технология обработки данных для получения информации нового качества о состоянии ОУ. Обработывается массив данных, формируемых в процессе наблюдения управляющих входов, выходов и измеряемых параметров среды функционирования ОУ. Наблюдение осуществляется на конечном интервале времени в режиме нормального функционирования ОУ. Процесс накопления информации никак не влияет на реализуемый на интервале наблюдения процесс управления (пассивное накопление).

Процесс обработки накопленного массива данных с целью получения оценок координат состояния (выхода) ОУ, независимых от ошибок измерения, должен быть реализован практически мгновенно: длительность реализации должна быть пренебрежимо мала по отношению к длительности интервала наблюдения. Для такого режима оценивания введен термин «мгновенное апостериорное оценивание», сокращенно МАО [2, с. 48]. Этот режим позволяет минимизировать эффект устаревания информации: провести коррекцию координат состояния и начать исправление фазовой траектории ОУ практически по завершении интервала наблюдения.

Режим МАО должен завершаться имитацией реализованного на интервале наблюдения процесса управления при полной априорной информации об условиях его реализации (с использованием детерминированной модели процесса). Для этого в режиме МАО должна быть проведена идентификация факторов неопределенности реализованного процесса управления. В общем случае необходим поисковый алгоритм идентификации, требующий значительных вычислительных ресурсов, пара-

метры которых, с учетом необходимости мгновенной обработки информации, в настоящее время не поддаются корректной оценке. Темп развития вычислительной техники позволяет прогнозировать создание условий практической реализации МАО в ближайшем будущем. Поэтому проблема разработки методов алгоритмического конструирования информационно-управляющих систем (ИУС), которые реализуют МАО, несомненно актуальна.

Повышение точности систем автоматического управления (САУ) за счет компенсации влияния ошибок датчиков алгоритмическими методами, автономно (без внешних источников информации) позволит повысить эффективность управляемых объектов также за счет повышения помехозащищенности САУ. Кроме того, создаются условия снижения стоимости ИУС за счет снижения требований к точности датчиков.

Особенно эффективна реализация такой самокомпенсации ошибок измерений для информационных систем (ИС) с накоплением ошибок. Под ИС из состава ИУС понимается источник рабочей информации об управляемом процессе. В ИС с накоплением ошибок непосредственно измеряются первые и/или вторые производные обобщенных позиционных координат ОУ. Сами координаты связаны с измеряемыми переменными интегральными соотношениями, обуславливающими накопление ошибок измерений. На настоящем этапе развития теории и техники автоматического управления, накапливающиеся погрешности не могут быть скорректированы без внешних источников информации.

Определим отличия системных технологий оперативной (текущей) идентификации динамического объекта (идентификации в замкнутом контуре) и системы ретроспективной идентификации, являющейся ключевым элементом метода оценивания состояния ОУ, развиваемого в настоящей работе.

1) Отличие целевых функций идентификации. Оперативная идентификация относится к классу задач динамического проектирования САУ – созданию систем адаптивного и робастно-адаптивного управления динамическими объектами. Рассматриваемая задача ретроспективной идентификации относится к задачам информационного обеспечения процессов управления.

2) Отличие требований к точности идентификации. Модель, используемая для имитационного оценивания состояния динамического объекта, требует более точного выполнения критериев идентификации, чем модель, применяемая для адаптации САУ этим объектом к изменяющимся условиям функционирования [1, с. 44].

3) Отличие алгоритмической структуры систем оперативной и ретроспективной идентификации. Для оперативной идентификации применяются в основном рекуррентные алгоритмы, реализующие оптимизацию гаусс-марковских процессов оценивания параметров настраиваемой модели в темпе поступления рабочей информации о процессе управления. Методы ретроспективной идентификации базируются на поисковых алгоритмах идентификации – построению последовательности пробных значений искомых параметров модели, обеспечивающей достижение экстремального значения функционала идентификации.

Предлагаемая информационная технология базируется на феномене дуализма управления, открытого и существенно развитого А. А. Фельдбаумом [3, с. 400]. Идея о возможности «изучения» свойств ОУ по управляющему сигналу, который формируется регулятором из состава замкнутой САУ [3, с. 400], привела к идее поиска методологии оценивания приведенного к управляющему входу возмущающего воздействия на ОУ, эквивалентного совокупности априорно неопределенных воздействий, относящихся к классам сигнальных и параметрических возмущений. Выполненная с необходимой точностью оценка реализации эквивалентного возмущения на интервале наблюдения обеспечивает имитационное оценивание состояния ОУ, точность которого не зависит от ошибок измерений.

Постановка задачи

Проблема рассматривается с применением моделей процессов управления, отражающих максимально простые композиции решаемых задач. В связи с этим в постановочной части исследования определены условия, которые позволяют максимально просто представить предлагаемую информационную технологию:

- Решена задача подавления белого шума измерений входа и выхода ОУ, которая, как правило, может решаться независимо от задач идентификации ОУ и синтеза закона управления.

- По отношению к возмущающему воздействию на ОУ, как и по отношению к входному сигналу, система представляет собой фильтр нижних частот. За счет этого подавляется нерегулярная составляющая возмущения и ее можно не учитывать в рабочей модели ОУ.

- Измерение параметров среды функционирования и координат состояния ОУ, определяющих режим эксплуатации ОУ, позволяет реализовать прямое адаптивное управление, которое базируется на учете взаимосвязи параметров объекта и регулятора.

- Процесс изменения управляющего воздействия рассматривается как точно измеряемый процесс [4, с. 231]. Корректность такого допущения обусловлена применением цифровых управляющих устройств, в которых с высокой точностью отображаются заданные положения органов управления, преобразуемые во входные сигналы исполнительной servосистемы. Измеряемые параметры

положения и движения органов управления (выходы servосистемы) могут быть отнесены к координатам состояния ОУ.

- Определены структуры и алгоритмы настройки параметров управляющих устройств (регуляторов) из состава синтезируемой САУ.

- Задача формирования апостериорных оценок координат состояния ОУ, инвариантных к погрешностям измерений, решается для САУ, обеспечивающей реализацию режима нормального функционирования ОУ.

Исходные данные для синтеза алгоритмической структуры САУ.

1) Модель ОУ:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = F(x, \dot{x}, p, g), \quad (1)$$

где $x \in R^n$ – вектор обобщенных позиционных координат ОУ; $F \in R^n$ – векторная функция, удовлетворяющая условиям существования и единственности решения задачи Коши для системы (1);

$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$; $p \in R^m$ – вектор параметров среды

функционирования ОУ; $g \in R^n$ – суммарный вектор входных воздействий на ОУ; $g = u + w$, где u – вектор управления; w – вектор эквивалентного возмущения, приведенного к управляющему входу ОУ. Уравнение (1) определено на интервале времени $t \in [t_0, t_f]$, где t_0, t_f – начальный и конечный моменты интервала наблюдения. Решение уравнения (1) удовлетворяет начальным значениям векторов обобщенной скорости и положения ОУ: $\dot{x}(t_0)$ и $x(t_0)$.

R^μ обозначает пространство векторов размерности μ с вещественными элементами.

2) Модель возмущения:

$$w = \phi_w(x, \dot{x}, t, \alpha), \quad t \in [t_0, t_f], \quad (2)$$

где $\phi_w \in R^n$ – гладкая векторная функция, α – вектор случайных параметров.

3) Модель измерений.

Определяется составом датчиков и функциональным алгоритмом ИС. Рассматривается ИС с накоплением ошибок измерений. Представим вектор обобщенных позиционных координат ОУ в виде суммы 2-х векторов:

$$X = X_1 + X_2, \quad (3)$$

где X_1, X_2 – векторы, содержащие компоненты позиционных координат, полученные в результате интегрирования непосредственно измеряемых их

первых производных $\dot{x}_1 = \frac{dx_1}{dt}$ и двукратного интегрирования непосредственно измеряемых их вто-

рых производных $\ddot{x}_2 = \frac{d^2 x_2}{dt^2}$. Остальные элементы векторов нулевые, обеспечивающие принадлежность векторов X_1 и X_2 пространству R^n .

Для моделирования данного измерительного процесса применяется селектор, выбирающий из вектора требуемые элементы. Составляющие вектора x , представленные в (3), выразим с использованием матричных коэффициентов: $X_1 = K_1 X$, $X_2 = K_2 X$. Тогда

$$x_1^*(t) = x_1^*(t_0) + \int_{t_0}^t \dot{x}_1^*(\tau) d\tau, \quad \dot{x}_2^*(t) = \dot{x}_2^*(t_0) + \int_{t_0}^t \ddot{x}_2^*(\tau) d\tau, \quad x_2^*(t) = x_2^*(t_0) + \int_{t_0}^t \dot{x}_2^*(\tau) d\tau \quad (5)$$

Текущие значения измеренных векторов обобщенных скоростей, позиционных координат и вектора состояния ОУ:

$$\dot{x}^* = \dot{x}_1^* + \dot{x}_2^*, \quad x^* = x_1^* + x_2^*, \quad z^* = [\dot{x}^*, x^*] \quad (6)$$

Модель ИС, соответствующей (3) – (6), будем обозначать оператором, аргументы которого указываются в фигурных скобках: $Z^* = A_{\text{dim}}\{x, \dot{x}, \beta\}$, где $A_{\text{dim}}\{\cdot\}$ – оператор измерительного процесса.

$\beta = \text{con}[\beta_1, \beta_2]$. Здесь использовано обозначение функции конкатенации кортежа векторов: $\vec{a} = \text{con}[\vec{a}_1, \dots, \vec{a}_k]$.

Измеренный вектор параметров среды функционирования:

$$p^* = h_p(p, \eta), \quad (7)$$

$X = (K_1 + K_2)X$, $K_1 + K_2 = E$, где E – единичная матрица размерности n .

Результаты непосредственных измерений:

$$\dot{x}_1^* = h_1(\dot{x}_1, \beta_1), \quad \ddot{x}_2^* = h_2(\ddot{x}_2, \beta_2), \quad (4)$$

где h_1, h_2 – непрерывные векторные функции наблюдения, β_1, β_2 – вектора случайных параметров ошибок измерений.

Счисляемые (косвенно измеряемые) векторные компоненты вектора состояния ОУ $Z = [\dot{x}, x]$:

где h_p – непрерывная векторная функция, η – вектор случайных параметров ошибок измерений.

4) Оператор регулятора для системы позиционного управления:

$$u = U\{x_{\text{IN}}, \dot{x}^*, x^*, p^*\}, \quad (8)$$

где x_{IN} – вектор входа (задающее воздействие).

Имитационный метод апостериорного оценивания состояния ОУ

Рассмотрим вариант построения системы автоматического управления (САУ) с полнокомпонентным мгновенным измерением [4, с.45], который соответствует тождественности векторов выхода и состояния объекта управления и представлен на рис.1.



Рис.1 Функциональная блок – схема САУ

При полной априорной информации об условиях реализации процесса управления воздействие среды на ОУ и ее параметры представимы детерминированными функциями состояния ОУ: $W = S_W(z)$, $p = S_p(z)$. В этом случае эволюция ОУ отображается уравнением вида:

$\frac{d^2 x}{dt^2} = G(x, \dot{x}, u)$, где G – векторная функция, удовлетворяющая условиям существования и единственности решения задачи Коши. В этих условиях обратная связь по состоянию (выходу) реального ОУ может быть заменена обратной связью по состоянию (выходу) модели вида

$$\frac{d^2 x_M}{dt^2} = G(x_M, \dot{x}_M, u), \text{ как показано на рис.2.}$$

Входное воздействие – детерминированная функция времени $x_{IN} = S_{IN}(t)$.

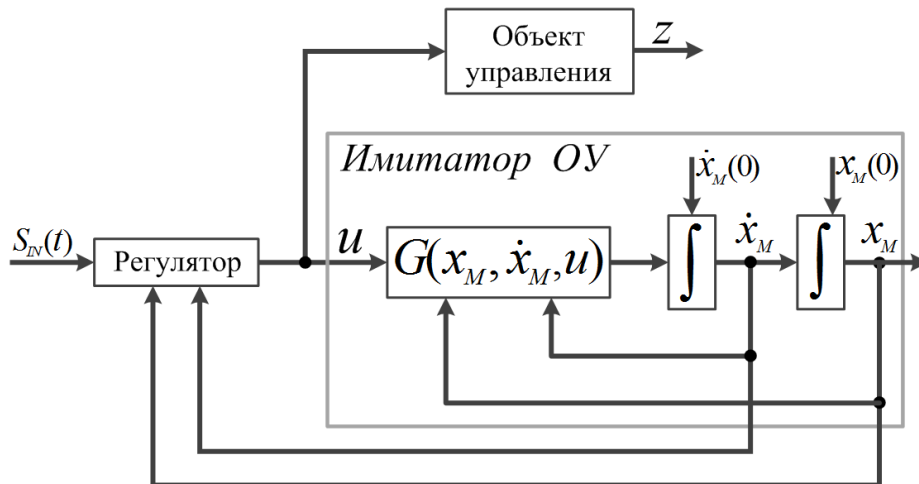


Рис.2 Функциональная блок-схема САУ с имитатором ОУ

Рис.2 раскрывает суть имитационного метода оценивания (ИМО) применительно к идеализированным условиям реализации процесса управления. Главное преимущество ИМО – независимость оценок от погрешностей датчиков. Для реализации процесса управления в условиях полной априорной информации о структуре, параметрах ОУ и возмущающих воздействиях на ОУ для формирования замкнутой САУ по состоянию и/или выходу ОУ датчиков (измерительных преобразователей) вообще не требуется. При этом реальный ОУ функционирует в разомкнутом контуре управления.

В реальных условиях эксплуатации ОУ практическая реализация ИМО может быть обеспечена за счет идентификации факторов неопределенности уже реализованного на некотором интервале процесса управления.

Мгновенная апостериорное оценивание состояния управляемого объекта.

На первом этапе реализации ИМО регистрируются управляющие входы и измеряемые выходы ОУ на интервале его нормального функционирования в режиме пассивного накопления информации. **На втором этапе** реализации ИМО проводится мгновенная апостериорная идентификация факторов неопределенности САУ в поисковом режиме. Для этого осуществляется настройка случайных параметров моделей возмущений и ошибок измерений по критериям близости измеренных выходов реального ОУ, хранящихся в памяти регистратора реального процесса управления, и его модели. В результате этой настройки формируется оценка реализации эквивалентного возмущения $\hat{w}(t)$, $t \in [t_0, t_f]$. Структура системы апостериорной идентификации факторов неопределенности реализованного на интервале наблюдения процесса управления представлена на рис.3.



Рис.3 Структура системы мгновенной апостериорной идентификации факторов неопределенности САУ

u_k, z_N^*, p_L^* – значения переменных u, z и p^* в узлах интерполяции; $u(t), p^*(t), z^*(t)$ – реализации соответствующих переменных, восстановленные интерполятором; индекс «М» присвоен переменным,

формируемым моделями; $\delta\alpha, \delta\beta$ – сигналы коррекции априорно неопределенных параметров в режиме поиска; $\delta\dot{x}_M(t_0), \delta x_M(t_0)$ – сигналы коррекции начальных условий в режиме поиска; $\mathcal{E}_Z$ – невязка измеренных векторов состояния реального ОУ и его модели.

Алгоритм, соответствующий структурной схеме, представленной на рис.3, реализуется для интервала наблюдения режима нормального функционирования ОУ на каждом цикле поиска оптимальных оценок векторов $\alpha, \beta, \dot{x}_M(t_0), x_M(t_0)$, соответствующих минимальному значению нормы разности измеренных векторов состояния (выхода) реального ОУ и его модели:

$$r = \min_Y \|Z^*(t) - Z_M(t)\| = \min_Y \|\mathcal{E}_Z\|, \quad \text{где}$$

$Y = [\alpha, \beta, \dot{x}_M(t_0), x_M(t_0)]$. На последнем цикле поиска на входе модели ОУ формируется оптимальная оценка реализации эквивалентного возмущения $\hat{W}_M(t) = \hat{W}_{opt}(t), t \in [t_0, t_f]$, на

входах начальных условий интеграторов модели ОУ – оптимальные оценки начальных значений векторов обобщенных скоростей и координат ОУ $\hat{\dot{x}}_{opt}(t_0), \hat{x}_{opt}(t_0)$, а на выходах модели ОУ – оптимальные текущие для интервала наблюдения оценки обобщенных скоростей и координат (вектора состояния ОУ):

$$\dot{x}_M(t) = \hat{\dot{x}}_{opt}(t), x_M(t) = \hat{x}_{opt}(t), t \in [t_0, t_f].$$

На рис.4 представлена структура модели для оптимального имитационного оценивания вектора состояния ОУ с моделью объекта, функционирующей в разомкнутом контуре управления.

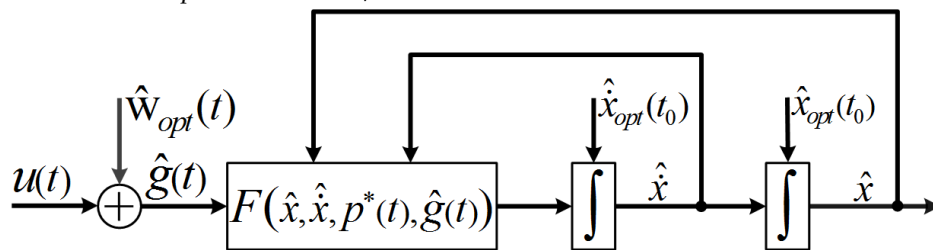


Рис.4 Структура модели для оптимального имитационного оценивания вектора состояния ОУ

Идентичный результат по состоянию и выходу ОУ должен формироваться в результате моделирования процесса, реализуемого замкнутой САУ, структурная схема которой представлена на рис.5.

Цифровая реализация регулятора позволяет проводить моделирование в предположении полной идентичности регуляторов, применяемых в составе реальной САУ и ее модели.

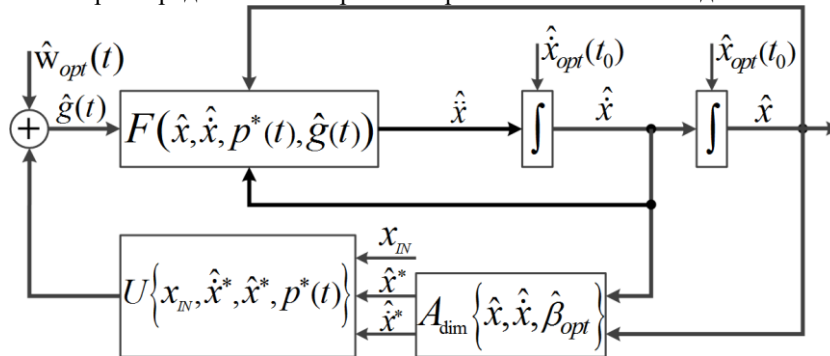


Рис. 5 Структурная схема имитационной модели САУ с идентифицированными факторами неопределенности

Заключение

Представлена перспективная технология обработки данных для информационного обеспечения систем автоматического управления, позволяющая формировать оценку вектора состояния объекта управления независимую от ошибок измерений вектора выхода объекта. Предлагаемый подход к решению проблемы основан на ретроспективном методе идентификации факторов неопределенности реализованного процесса управления в режиме мгновенной апостериорной обработки информации

онного массива, накопленного на конечном интервале времени нормального функционирования объекта управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 686 с.
2. Кикин И. С. Применение принципа мгновенного апостериорного оценивания для одноканальной системы угловой ориентации платформы на базе датчика угловой скорости. // Труды МИЭА.

Навигация и управление летательными аппаратами. 2019. №26(3), с. 46 – 66.

3. **Фельдбаум А. А.** Основы теории оптимальных автоматических систем. М.: Физматгиз, 1963. 552 с.

4. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. **А. А. Красовского**. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 712 с.

IMPLEMENTATION OF SPECTRUM MONITORING SYSTEMS OF THE HIGH - FREQUENCY RANGE IN DEVELOPING COUNTRIES HAVING RELATIVELY SMALL TERRITORIES

Chaouachi K.

*Head of Spectrum Monitoring Department,
National Agency of Frequencies (ANF), Tunis*

El Helali N.

Directeur des Opérations, GET Wireless, Tunis

Pavlyuk (Pavliouk) A.

Ph.D., Consultant JSC IRKOS, Moscow

Plossky A.

*Deputy Head of Laboratory,
Radio Research and Development Institute (NIIR), Moscow*

Souai Ep Lakhal S.

*Head of Developing Spectrum Monitoring Unit,
National Agency of Frequencies (ANF), Tunis*

MISE EN ŒUVRE D'UN SYSTÈME DE SURVEILLANCE DU SPECTRE DANS LA GAMME HAUTE FRÉQUENCE DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT AYANT DES TERRITOIRES RELATIVEMENT PETITS

Chaouachi K.

*Directeur du Réseau de Contrôle des Fréquences,
Agence Nationale des Fréquences (ANF), Tunis*

El Helali N.

Directeur des Opérations, GET Wireless, Tunis

Pavlyuk (Pavliouk) A.

Ph.D., Consultant JSC IRKOS, Moscou

Plossky A.

*Chef adjoint de laboratoire,
Institut de recherche et de développement radio (NIIR), Moscou*

Souai Ep Lakhal S.

*Chef Service Développement du Réseau de Contrôle,
Agence Nationale des Fréquences (ANF), Tunis*

DOI: [10.24412/3453-9875-2021-53-1-54-61](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-53-1-54-61)

Abstract

Currently, developing countries are showing increased interest in establishing new and optimizing existing spectrum monitoring networks, including networks for monitoring in the high-frequency (HF) range of the radio spectrum. If the planning and optimization issues of spectrum monitoring networks in the VHF/UHF frequency band are reasonably well developed, the same matters concerning the spectrum monitoring in the HF range are still under-researched. To cover this gap, in this paper efficiency of HF monitoring networks containing various numbers of mobile and fixed HF monitoring stations in different compositions is considered in application to countries of different sizes. Some measures to facilitate implementation of the Single Station Location (SSL) operational regime are also considered.

Abstrait

Actuellement, les pays en développement montrent un intérêt accru pour la mise en place de nouveaux réseaux de surveillance du spectre et l'optimisation des existants, y compris les réseaux de surveillance dans la gamme des hautes fréquences (HF) du spectre radioélectrique. Si les problèmes de planification et d'optimisation des réseaux de la surveillance du spectre dans la bande de fréquences VHF / UHF sont raisonnablement bien développés, les mêmes questions concernant la surveillance du spectre dans la gamme des hautes fréquences (HF) sont toujours l'objet de recherches. Pour combler cet écart, dans cet article, l'efficacité des réseaux de surveillance HF contenant différents nombres de stations de surveillance HF mobiles et fixes dans différentes compositions est considérée comme étant applicable à des pays de tailles différentes. Certaines mesures visant à faciliter la mise en œuvre du régime opérationnel de localisation de station unique (SSL) sont également envisagées.

Keywords: spectrum monitoring, HF monitoring features, monitoring network planning, monitoring coverage, direction finding, location by triangulation, single station location.

Mots-clés : surveillance du spectre, fonctions de surveillance HF, planification du réseau de surveillance, surveillance de la couverture, radiogoniométrie, localisation par triangulation, localisation d'une seule station (SSL).

Introduction

Etant donné que la situation socioéconomique dans les pays en développement s'améliore, une attention accrue a été accordée à la surveillance du spectre, y compris la surveillance dans la gamme des hautes fréquences (HF) de 3 à 30 MHz (longueurs d'onde de 100 à 10 m). Selon la Recommandation SM.1392-2 du Secteur des radiocommunications de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT-R) [1] : "Les systèmes de surveillance du spectre sont souvent la partie la plus chère d'un système national de gestion du spectre dont la mise en œuvre optimale, y compris la mise en réseau, a un impact économique significatif", qui est le plus pertinent pour les pays en développement afin d'être conforme au Système international de surveillance (International Monitoring System - IMS) de l'UIT-R.

Bien que les stations de surveillance HF sont apparues dans de nombreux pays, y compris un certain nombre de pays en développement, bien avant l'avènement de ces stations dans la bande VHF / UHF, en ce qui concerne la planification et l'optimisation de réseaux de surveillance, la documentation de l'UIT-R est exclusivement concernée par la surveillance VHF / UHF, tel qu'il est présenté dans [2] et dans la section 6.8 de [3].

Jusqu'à récemment, les publications disponibles dans la presse technique générale concernaient les réseaux de surveillance HF des pays et régions à très grands territoires [4-6], tandis que même la question de l'efficacité de la surveillance des émetteurs fonctionnant sur les liaisons radio HF nationales dans les pays de taille relativement petite, était discutable. Ce n'est que récemment que la publication [7] est apparue montrant que, dans certaines conditions, la surveillance d'émetteurs fonctionnant dans des liaisons radioélectriques HF nationales dans ces pays peut être assez efficace. Cependant, l'article [7] ne prend pas en compte les modifications d'une telle efficacité en fonction du nombre de stations de surveillance HF fixes

et mobiles, ce qui est extrêmement important dans le processus de planification et d'optimisation des réseaux de surveillance HF. Cet article est destiné à combler cet écart.

Principales caractéristiques de la surveillance de HF

La surveillance HF présente des caractéristiques importantes qui la distinguent fondamentalement de la surveillance dans la bande VHF / UHF. Selon la figure 1, ces fonctionnalités sont principalement les suivantes:

- La présence de réflexions d'ondes radio émises par des émetteurs (**TR 1** et **TR 2** sur la figure 1) de l'ionosphère, qui peuvent être représentées de manière simplifiée par deux couches ionisées **E** et **F** de hauteurs différentes ; les signaux sont reçus par l'antenne d'une station de surveillance HF sous la forme d'une onde céleste provenant de l'ionosphère aux angles d'élévation Δ ;
- Il y a aussi des émissions d'émetteurs sur l'onde terrestre à une distance de 30 à 50 km des émetteurs ;
- La figure 1 montre un exemple de propagation à saut unique (single-hop) d'ondes radio HF, mais la propagation à sauts multiples (multi-hops) peut également se produire sur de longues liaisons radio (2 sauts ou plus) ;
- Dans un cas général, il y a des zones de silence (dead) dans les parties médianes des sauts (hops), marquées par des lignes sombres à la surface du sol conditionnel sur la figure 1, où la réception des signaux devient impossible.
- Cependant, comme il est montré dans [7], cet effet n'est pas apparent sur les liaisons radio HF locales à courte portée, typiques pour les pays avec des territoires relativement petits, lorsque les angles d'élévation sont élevés, jusqu'à 85° (chute presque verticale et réflexion de l'onde de l'ionosphère). Les calculs montrent que l'angle d'élévation à 85° correspond à une distance **D** égale à environ 60 km.

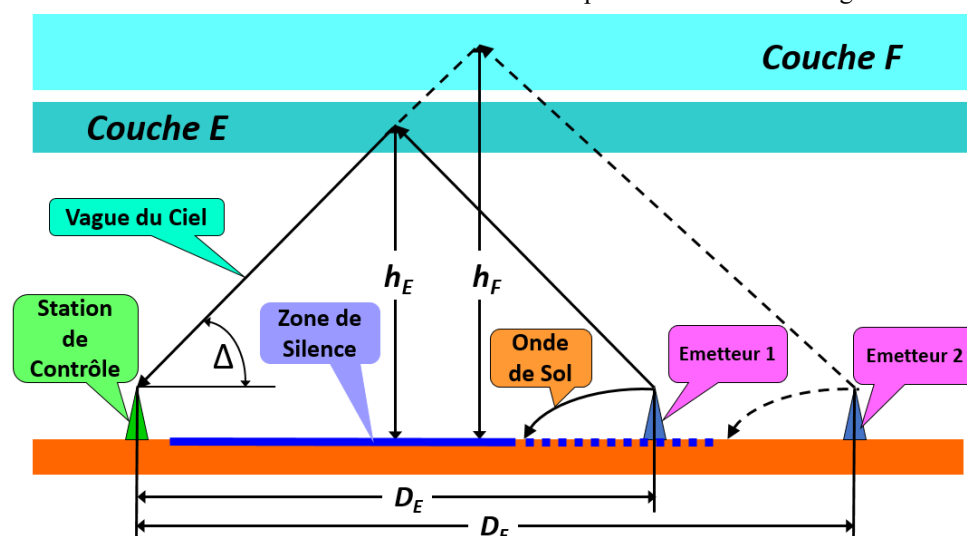


Figure 1. Principales caractéristiques de la surveillance du spectre HF

Étant donné que les techniques modernes de radiogoniométrie (DF), à savoir l'interférométrie corrélative (section 4.7.2.2.5 de [3]), permettent de mesurer avec précision les angles d'élévation Δ , dans des conditions de connaissance de la hauteur de la réflexion des ondes de l'ionosphère (h_E ou h_F sur la Figure 1), il est possible de calculer la distance de la station de surveillance HF fixe à l'émetteur recherché (D_E ou D_F sur la Figure 1) en utilisant la formule simple : $D = 2h / \tan \Delta$. Cette fonctionnalité fournit un régime de fonctionnement unique de localisation de station unique (SSL) (section 4.7.3.4 de [3]) qui n'est disponible pour la surveillance dans aucune autre plage de fréquences.

La figure 1 présente un cas particulier de propagation HF des ondes radio (nécessaire pour l'analyse qui sera dévoilée ci-dessous), lorsque les émetteurs **TR 1** et **TR 2** sont positionnés de telle sorte que les ondes réfléchies par les couches ionosphériques **E** et **F** parviennent à l'antenne de la station de surveillance HF au même angle d'élévation Δ . Dans le cas général, les ondes célestes des couches **E** et **F** sont soumises à différents angles d'élévation. En règle générale, les angles d'élévation des ondes célestes provenant de la couche **F** ont des valeurs plus élevées.

Il est bien connu que la propagation des ondes radioélectriques dans la plage HF est très variable en raison de la grande dépendance de l'ionisation, en particulier de la couche **F**, de l'heure d'une journée, de l'emplacement de l'émetteur et du récepteur, de la saison de l'année et de l'activité solaire caractérisée par le nombre moyen de taches solaires **R** [8]. Par conséquent, afin d'assurer une communication radio stable, différentes fréquences sont généralement choisies pour le jour et la nuit ; les fréquences nocturnes sont toujours plus basses. Comme il résulte de [7], manipulant par la surveillance HF pendant les heures de jour et de nuit, il est possible de surveiller des émetteurs HF fonctionnant sur des liaisons radio locales de pays avec des territoires relativement petits avec un degré de probabilité assez élevé, bien qu'atteindre une probabilité stable de 100% est très difficile.

Pour garantir l'efficacité DF et SSL moyennant l'interférométrie corrélative, les antennes de réception doivent avoir des dimensions comparables aux longueurs d'onde HF, c'est-à-dire des dizaines de mètres. Ceci est généralement réalisé en créant des champs d'antenne contenant un nombre suffisamment important d'éléments d'antennes répartis sur le territoire (jusqu'à 18 éléments selon [9]). Les antennes à boucle croisée (cross loop antennas) sont utilisées comme éléments d'antennes (section 3.2.3.3 de [3], [9]). Étant donné que de telles antennes ne peuvent pas être installées sur des stations de surveillance HF mobiles, ces stations ne peuvent fournir que la mesure des ondes célestes des paramètres d'émission des émetteurs HF (fréquence, bande passante, modulation / classe d'émission), mais pas la fonction DF. Une telle fonction DF par des stations mobiles de surveillance HF n'est possible qu'en mode de ralliement sur l'onde terrestre.

En raison de la présence de zones de silence (dead), les stations de surveillance HF fixe dans les pays ayant des territoires relativement petits ne peuvent pas assurer la surveillance des ondes célestes des émetteurs nationaux fonctionnant sur de longues liaisons radio internationales utilisant les fréquences supérieures de la bande HF. Pour se faire, la station mobile doit s'approcher de l'émetteur recherché à une distance inférieure à 50 - 30 km. À cet égard, les coordonnées de cet émetteur doivent être connues. Cet objectif peut être atteint si un registre national des fréquences contient des données concernant les coordonnées des émetteurs HF.

Fonctions fournies par un certain nombre de stations de surveillance HF de composition différente

En se basant sur les caractéristiques spécifiques de la surveillance HF décrites ci-dessus, considérons les capacités fournies par un certain nombre de stations de surveillance HF de composition différente, en référence aux stations de surveillance fixes équipées et non équipées d'un système SSL. Ces capacités ainsi que les restrictions pertinentes sont résumées dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1.

Différentes options de création de réseau de surveillance HF

Type de stations de surveillance HF	Capacités / avantages	Restrictions / inconvénients
Une station mobile	- Fournir des mesures des paramètres d'émission des émetteurs HF (mesures UIT) sur les ondes de sol et de ciel (avec une certaine probabilité), c'est-à-dire à des distances allant jusqu'à 30 - 50 km sur l'onde de sol, et à des distances pouvant atteindre plusieurs milliers de km sur l'onde de ciel. - Fournir DF (avec constatation ultérieure sur place) des émetteurs HF nationaux souhaités sur l'onde de sol, c'est-à-dire après que la station mobile s'approche de l'émetteur à une distance de 30 à 50 km. - Assurer une surveillance et une localisation complètes sur place des émetteurs nationaux travaillant dans toute la plage de fréquences HF à la demande du système de surveillance international de l'UIT (IMS), car ces demandes indiquent généralement les fréquences et les coordonnées de l'émetteur national qui sont considérées comme étant interférentes. - Assurer une surveillance complète et une détection sur place des émetteurs radio HF locaux et étrangers dont les fréquences et les coordonnées sont répertoriées dans le registre national des fréquences. Par conséquent, la station permet une surveillance périodique des émetteurs HF nationaux enregistrés pour la conformité avec les paramètres autorisés (sous licence) et les conditions d'exploitation.	En raison des limites de l'antenne, une station HF mobile est fondamentalement incapable de fournir DF sur l'onde céleste, ce qui rend extrêmement difficile de trouver des émetteurs illégaux et interférents qui sont séparés de la station à des distances dépassant 30 à 50 km, c'est-à-dire situés sur la plupart des territoires du pays. L'augmentation du nombre de stations mobiles n'entraîne pas l'élimination de ce problème qui est une grande caractéristique négative de la surveillance dans la gamme de fréquences HF.
Une station fixe	Fournir des mesures des paramètres d'émission et DF (avec une certaine probabilité) des émetteurs HF travaillant dans les liaisons de radiocommunication locales en utilisant les ondes du sol et du ciel, c'est-à-dire à des distances allant de 30 à 50 km sur l'onde de sol et à des distances d'environ 60 km à plusieurs milliers de km de la station sur l'onde du ciel.	- Il n'est pas possible de fournir des émetteurs DF dans la zone annulaire étroite autour de la station fixe avec un rayon minimum de 30 km (limite de réception des ondes de sol) et un rayon maximum d'environ 60 km (limite de réception des ondes du ciel). - En raison de la propagation spécifique des ondes radio dans la gamme de fréquences HF, la surveillance des ondes du ciel, y compris DF, des émetteurs locaux fonctionnant sur des liaisons radio étrangères aux hautes fréquences de la gamme HF ne peut pas être assurée. L'augmentation du nombre de stations de surveillance fixes (et mobiles) n'entraîne pas l'élimination de ce problème qui est une grande caractéristique négative de la surveillance dans la plage de fréquences HF.
Une station fixe avec capacités SSL	Outre les capacités d'une station fixe décrites ci-dessus, l'ajout des moyens SSL permet de localiser (avec une certaine probabilité) des émetteurs HF travaillant sur des liaisons de radiocommunication locales à des distances d'environ 60 km à plusieurs milliers de km de la station en utilisant l'onde du ciel.	En plus des limitations d'une station fixe décrites ci-dessus, l'option SSL ne fournit pas l'emplacement des émetteurs HF recherchés dans la zone des ondes de sol, c'est-à-dire à des distances de 30 à 50 km de la station.

Deux stations fixes	- Fournir (avec une certaine probabilité) une surveillance à grande échelle (mesures des paramètres d'émission, DF et emplacement) des émetteurs de liaisons radio locales HF dans tout le pays en utilisant les ondes du ciel (en plus des mesures et des DF fournis dans les zones d'ondes au sol, c'est-à-dire à distances jusqu'à 30 - 50 km de chaque station). - Étant donné que l'émetteur recherché est généralement à des distances différentes des stations de surveillance, il peut y avoir des conditions légèrement différentes pour la propagation des ondes radio HF le long des trajets correspondants, ce qui peut augmenter quelque peu la probabilité de surveillance par rapport à l'option d'une station fixe contenant des moyens SSL.	- De même que pour la surveillance dans la bande de fréquences VHF / UHF, il existe un DF et une « zone morte ou dead zone » de localisation le long de la ligne reliant deux stations de surveillance fixes. - En raison de la propagation spécifique des ondes radio dans la plage de fréquences HF, la surveillance des ondes du ciel, y compris DF et l'emplacement, des émetteurs locaux fonctionnant sur des liaisons radio étrangères aux hautes fréquences de la gamme HF ne peut pas être assurée.
Deux stations fixes dont une est fournie par SSL	Fournir (avec une probabilité et une fiabilité accrues) une surveillance à grande échelle (mesures des paramètres d'émission, DF et emplacement) des émetteurs de liaisons radio locales HF dans tout le pays (y compris la zone « morte » susmentionnée) en utilisant les ondes du ciel (en plus des mesures, DF et emplacement fournis dans les zones d'ondes de sol, c'est-à-dire à des distances allant de 30 à 50 km de chaque station).	En raison de la propagation spécifique des ondes radio dans la gamme de fréquences HF, la surveillance des ondes du ciel, y compris DF et l'emplacement, des émetteurs locaux fonctionnant sur des liaisons radio étrangères aux hautes fréquences de la gamme HF ne peut pas être assurée.
Deux stations fixes, toutes les deux fournies par SSL	- Fournir (avec une probabilité et une fiabilité encore plus grandes) une surveillance à grande échelle (mesures des paramètres d'émission, DF et emplacement) des émetteurs de liaisons radio locales HF dans tout le pays en utilisant les ondes du ciel (en plus des mesures, DF et emplacement fournis dans les zones d'ondes au sol, c'est-à-dire à des distances allant de 30 à 50 km de chaque station). - Fournir 3 points de localisation à travers les ondes du ciel (un par triangulation et 2 par SSL), ce qui augmente d'environ 3 fois la probabilité et la fiabilité de la localisation.	En raison de la propagation spécifique des ondes radio dans la gamme de fréquences HF, la surveillance des ondes du ciel, y compris DF et l'emplacement, des émetteurs locaux fonctionnant sur des liaisons radio étrangères aux hautes fréquences de la gamme HF ne peut pas être assurée. L'augmentation du nombre de stations de surveillance HF fixes (et mobiles) même celles fournies par les capacités SSL ne conduit pas à l'élimination de ce problème qui est une grande caractéristique négative de la surveillance dans la gamme de fréquences HF.

Le *Tableau 1* montre que les émetteurs locaux fonctionnant sur de longues liaisons radio étrangères à des fréquences situées dans la partie supérieure de la gamme HF ne peuvent pas être surveillés au-dessus de l'onde céleste par un réseau de surveillance HF local comprenant même plusieurs stations fixes. Cependant, il n'y a pas de grande tragédie à ce sujet. Le fait est que de tels émetteurs, en raison des particularités de la propagation des ondes radio dans la plage HF, ne peuvent pas produire d'effet d'interférence sur les récepteurs locaux fonctionnant sur les mêmes liaisons radioélectriques étrangères longues et aux mêmes fréquences. Ils ne peuvent créer des interférences que sur les récepteurs étrangers, mais ils peuvent faire l'objet de plaintes par l'IMS de l'UIT. Ces plaintes contiennent généralement des données relatives non seulement à la fréquence du signal d'interférence, mais également aux coordonnées de la source correspondante, ce qui rend beaucoup plus facile de trouver un tel émetteur en place à l'aide d'une station de surveillance HF mobile sur l'onde de sol.

Comme il résulte du *tableau 1*, les caractéristiques techniques des réseaux de surveillance HF contenant deux stations de surveillance fixes et une station de surveillance équipée de capacités SSL sont proches l'une de l'autre. Néanmoins, la rentabilité d'une station de surveillance équipée de capacités SSL est presque deux fois supérieure à celle de deux stations. De ce fait, l'option d'une station de surveillance HF fixe fournie par des capacités SSL combinée à une station DF mobile semble très attrayante.

D'après le *Tableau 1*, on peut également conclure que la combinaison de deux stations de surveillance HF-SSL fixe et une HF mobile offre (avec une assez forte probabilité et fiabilité) de la surveillance à grande échelle (mesure des paramètres d'émission, DF et emplacement) des émetteurs HF des communications radio locales dans tout le pays et pour toute la plage de fréquences HF. Cependant, le DF et la localisation des émetteurs illégaux et interférents fonctionnant sur des liaisons radio étrangères dans la partie supérieure de la plage de fréquences HF restent généralement très

difficiles. Cela est dû au fait que les stations fixes de surveillance HF ne peuvent pas recevoir les signaux de tels émetteurs par les ondes du ciel. En ce qui concerne une station HF mobile, pour surveiller de tels émetteurs, la station doit être proche de chaque émetteur de 30 - 50 km c'est-à-dire pour entrer dans sa zone de couverture des ondes de sol, mais il n'est pas possible de déterminer, au moins approximativement, l'emplacement de cet émetteur sur le territoire du pays. De ce fait, la localisation d'un tel émetteur utilisant une station de surveillance mobile semble être très problématique.

En conclusion générale du *Tableau 1*, on peut suggérer que l'option relative à une station de surveillance HF mobile est la configuration minimale réalisable et appropriée pour les pays avec des territoires relativement petits. Une station de surveillance HF mobile et une station SSL fixe est la solution la plus optimale pour ces pays en termes de rapport : fonctions exécutées / coût.

Prise en charge des opérations SSL

Conformément à la section 4.7.3.4 de [3], la question clé dans la mise en œuvre pratique de la méthode SSL est de déterminer la hauteur virtuelle h de la réflexion des ondes radioélectriques de l'ionosphère.

Cette hauteur est vraiment virtuelle parce que l'onde, en fait, se réfléchit de l'ionosphère non pas en un seul point comme cela est montré dans la figure 1 mais elle passe l'ionosphère par une trajectoire semblable à un arc. Certaines sources permettant d'obtenir de telles informations sont également mentionnées, mais il semble qu'elles ne sont pas toutes pratiquement accessibles pour certains pays en développement.

Il semble que ces difficultés puissent être surmontées en calculant la dépendance $D = f(\Delta)$ pour un pays spécifique à différentes valeurs du nombre moyen de taches solaires R , c'est-à-dire en contournant la nécessité de prendre en compte la hauteur h de la réflexion ionosphérique. Dans le cas de la Tunisie, ces calculs ont été effectués à l'aide du logiciel appelé MINIFTZ qui figurait auparavant dans la liste des logiciels de l'UIT. Il est toujours très populaire auprès des spécialistes pour des calculs rapides et visuels des liaisons radio HF qui ne nécessitent pas la plus grande précision de calculs. Ce logiciel nécessite un nombre minimum de données d'entrée et fournit un résultat illustratif. Le fonctionnement avec le logiciel et ses résultats sont décrits dans [7].

Des calculs ont été effectués pour 9 gradations de longueurs de liaisons radio dans la plage de 60 à 450 km et pour quatre valeurs du nombre moyen de taches solaires : 10 (une valeur proche du minimum), 50, 100 et 190 (une valeur proche du maximum). Les résultats des calculs sont présentés dans le *Tableau 2*, ainsi que dans les *Figures 2* et *3*.

Comme il résulte de ces tableaux et figures, les dépendances $D = f(\Delta)$ pour les réflexions de la couche E sont très stables et ne dépendent pas de ni de l'heure d'une journée ni du nombre moyen de taches solaires. Les réflexions - E se produisent au milieu de la journée aux fréquences HF inférieures (voir [7]).

La même dépendance pour les réflexions de la couche F montre une dépendance significative de l'angle d'élévation durant la journée et du nombre moyen de taches solaires, ce qui a forcé à présenter sur la *Figure 2* deux lignes de la fonction $D = f(\Delta)$ pour les valeurs R égal à 10 et 190. Les dépendances pour les autres valeurs R sont situées entre ces deux lignes.

Tableau 2.

Dépendance des angles d'élévation Δ des longueurs de liaison radio D

Distance D , km	Angle d'élévation Δ , degrés				
	Réflexion - E ($R = 10 - 190$)	Réflexion - F			
		$R = 10$	$R = 50$	$R = 100$	$R = 190$
60	75	84	84 85	85	85 86
82	69	81 82	82 83	83 84	84
100	65	80	80 81	81 82	82 83
144	56	75 76	76 77	78 79	79 80
201	47	70 71	71 72	73 74	75 76
254	40	65 66	66 67 68	69 70	71 72
297	36	61 62 63	62 63 64	66 67	68 69
366	30	55 56 57	57 58 59	61 62 63	63 64 65
450	25	50 51 52	51 52 53 54	55 56 57	58 59 60

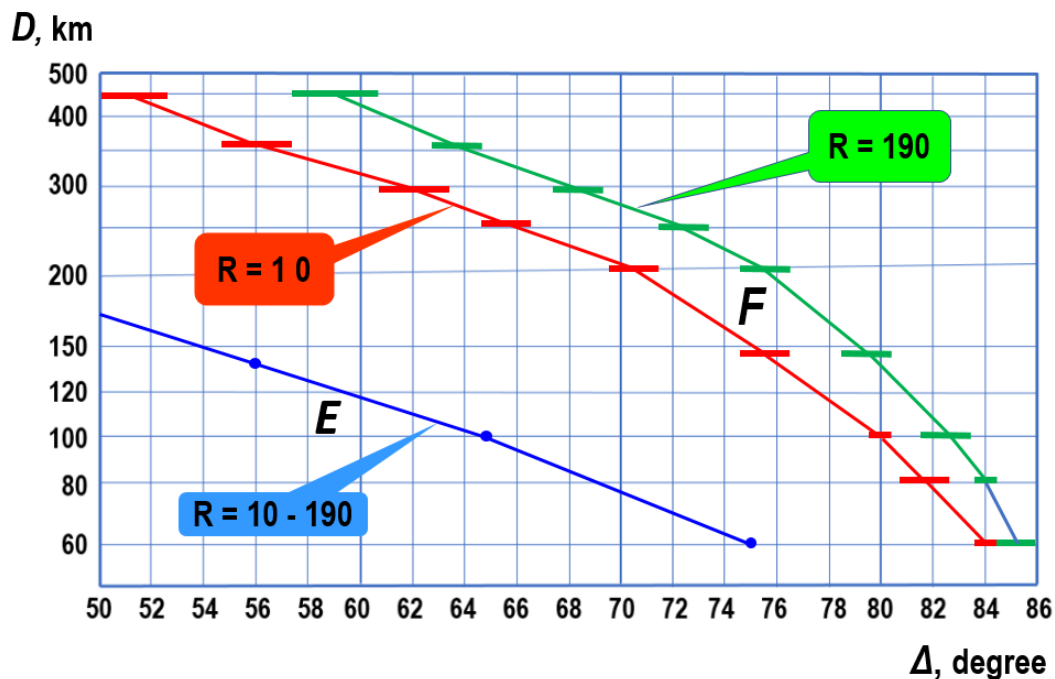


Figure 2. Dépendances $D = f(\Delta)$ pour les réflexions des couches E et F sous de grandes valeurs de Δ

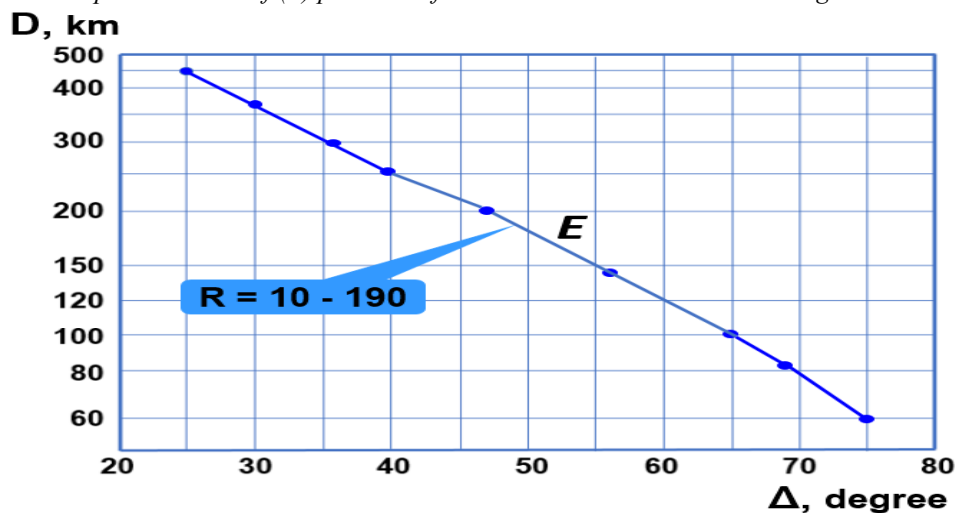


Figure 3. Dépendances $D = f(\Delta)$ pour les réflexions de la couche E sous toutes les valeurs calculées de Δ

Comme il est clairement illustré dans la Figure 2, la relation $D = f(\Delta)$ pour les angles d'élévation entre 50° et 75° n'est pas sans ambiguïté. Comme démontré par la Figure 1, le même angle d'élévation Δ peut se produire à partir d'une onde réfléchie dans certaines conditions par la couche E d'un émetteur situé à une distance D_E , et d'une onde réfléchie dans d'autres conditions par la couche F à partir d'un émetteur situé à une plus grande distance D_F .

Cette circonstance doit être prise en compte lors de la recherche d'un émetteur sur place à l'aide d'une station de surveillance HF mobile. Par exemple, laissez une station de surveillance HF / SSL mesurer un angle d'élévation de 70° dans des conditions de faible activité solaire.

Selon la figure 2, cela correspond à la distance D_E , égale à environ 78 km et à la distance D_F égale à environ 210 km. Dans la journée, la station mobile devrait commencer à rechercher l'émetteur dans une zone d'environ 78 km de la station de surveillance HF / SSL le long de sa ligne de relèvement D_F , en supposant que la réflexion se produit à partir de la couche E. Si l'émetteur souhaité n'est pas trouvé ici, il est nécessaire

d'essayer de le trouver dans la zone d'environ 210 km de la station de surveillance HF / SSL le long de sa ligne de relèvement. Pendant les heures du matin ou du soir, la recherche devrait commencer à partir d'une zone d'environ 210 km de la station sur sa ligne de relèvement D_F , en supposant que la réflexion se produit à partir de la couche F.

Si une station de surveillance HF / SSL mesure un angle d'élévation inférieur à 50° , par exemple 40° , et que l'émetteur souhaité ne peut pas être trouvé à une distance D_E d'environ 250 km (voir Figure 3) le long de la ligne de relèvement D_F , cela signifie qu'il peut y avoir une réflexion de la couche F de l'onde provenant de l'émetteur, qui se sépare de la station de surveillance à une distance supérieure à 450 km, c'est-à-dire par exemple pour le cas de la Tunisie où l'émetteur pourrait être installé à l'étranger.

Les calculs ont également montré que dans les pays ayant un territoire relativement petit, comme la Tunisie, toutes les liaisons radio locales sont caractérisées par une propagation à un seul bond des ondes radio HF ; ce fait facilite grandement la mise en œuvre du régime SSL.

Étant donné que les paramètres de l'ionosphère varient en fonction de l'emplacement sur le globe, les données du *Tableau 2* et des *Figures 2* et *3* peuvent être légèrement différentes pour d'autres pays. Cependant, les relations $D = f(\Delta)$ obtenues pour la Tunisie peuvent être bien utilisées par les administrations de communication d'autres pays à titre indicatif. En vue d'obtenir des données plus précises, les administrations peuvent répéter des calculs similaires en utilisant, par exemple, le logiciel UIT-R ITURHFProp [10]. Une précision acceptable peut être considérée telle que, selon les résultats de calculs, la station mobile couvre la zone des ondes terrestres de l'émetteur recherché, avec son DF suivant par l'onde de terre en utilisant le système de référencement. La valeur actuelle du nombre moyen de taches solaires pour un fonctionnement avec la figure 2 peut être obtenue dans la circulaire UIT-R [11].

Conclusion

Il semble que les données présentées dans cet article, ainsi que la publication [7], fournissent des informations complètes pour la planification et l'optimisation des réseaux de surveillance du spectre opérant dans la gamme HF.

Remerciements

En conclusion, les auteurs souhaitent exprimer leur gratitude au Dr V. Kozmin (JSC IRCOS, Russie) pour les discussions constructives sur certaines questions liées à l'article.

RÉFÉRENCES:

1. Recommendation ITU-R SM.1392-2 (02/2011). Essential requirements for a spectrum monitoring system for developing countries. <https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1392-2-201102-I/en>
2. Report ITU-R SM.2356-2 (06/2018). Procedures for planning and optimization of spectrum-monitoring networks in the VHF/UHF frequency range. <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2356-2-2018>
3. ITU-R. Spectrum Monitoring Handbook. Edition 2011. <https://www.itu.int/pub/R-HDB-23>
4. Krutova O.E., Luther W., Pavlyuk A.P. Analysis of location characteristics of the USA HF international spectrum monitoring network using new software. - Proceedings of the Eighteenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, EMC-2006. Wroclaw, Poland, 2006. (The copy is available at: <https://pavlyuk.wixsite.com/alexander/publications>).
5. Krutova O.E., Pavlyuk A.P., Plossky A.Y. Improvement of performance of the Russian spectrum monitoring network in HF frequency band. *Elektrosvyaz*, No.9, 2008. Moscow, Russia. (In Russian, translation into English is available at: <https://pavlyuk.wixsite.com/alexander/publications>).
6. Krutova O.E., Plossky A. Y. Enhancement of the International Spectrum Monitoring System Following Accession of the Russian Federation. – Proceedings of the EMC Europe, 2011, York, UK. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6078563>
7. Pavlyuk (Pavliouk) A.P., Plossky A.Yu. Planning and optimization of spectrum monitoring networks of developing countries in the high frequency range. *Znanstvena misel journal* (Slovenia), №28, Vol. 1, 2019. <http://www.znanstvena-journal.com/wp-content/uploads/2019/04/Znanstvena-misel-journal-%E2%84%9628-2019.pdf>
8. ITU-R. Handbook on Ionosphere and its Effects on Radiowave Propagation, edition 1998. <https://www.itu.int/pub/R-HDB-32>
9. R&S® ADDx Multichannel DF AntennasProduct overview. https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/ADDx_multichannel_bro_en_0758-1106-12_v1000.pdf
10. ITU-R software ITURHFProp. <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg3/Pages/iono-tropo-spheric.aspx>
11. ITU. Circular of Basic Indices for Ionospheric Propagation. <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg3/Pages/rsg3-indices.aspx>

№53/2021

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 24 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
- Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
- Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
- Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
- Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
- Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
- Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
- Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
- Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
- Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
- Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
- Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
- Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
- Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
- Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
- Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
- Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
- Chan Jiang (Peking University, China) and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>