

Danish scientific journal
DSJ 

№46/2021

ISSN 3375-2389

Vol.1

The journal publishes materials on the most significant issues of our time. Articles sent for publication can be written in any language, as independent experts in different scientific and linguistic areas are involved.

The international scientific journal “Danish Scientific Journal” is focused on the international audience. Authors living in different countries have an opportunity to exchange knowledge and experience.

The main objective of the journal is the connection between science and society. Scientists in different areas of activity have an opportunity to publish their materials. Publishing a scientific article in the journal is your chance to contribute invaluablely to the development of science.

Editor in chief – Lene Larsen, Københavns Universitet

Secretary – Sofie Atting

- Charlotte Casparsen – Syddansk Erhvervsakademi, Denmark
- Rasmus Jørgensen – University of Southern Denmark, Denmark
- Claus Jensen – Københavns Universitet, Denmark
- Benjamin Hove – Uddannelsescenter Holstebro, Denmark
- William Witten – Iowa State University, USA
- Samuel Taylor – Florida State University, USA
- Anie Ludwig – Universität Mannheim, Germany
- Javier Neziraj – Universidade da Coruña, Spain
- Andreas Bøhler – Harstad University College, Norway
- Line Haslum – Sodertorns University College, Sweden
- Daehoy Park – Chung Ang University, South Korea
- Mohit Gupta – University of Calcutta, India
- Vojtech Hanus – Polytechnic College in Jihlava, Czech Republic
- Agnieszka Wyszynska – Szczecin University, Poland

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies

Danish Scientific Journal (DSJ)

Istedgade 104 1650 København V Denmark

email: publishing@danish-journal.com

site: <http://www.danish-journal.com>

CONTENT

MEDICAL SCIENCES

Shtaniuk E., Kovalenko T., Vovk O. AZITHROMYCIN AND ITS APPLICATION.....3	Shylava M., Dotsenko M., Valchuk I. INFLUENCE OF OPIOID SUBSTITUTION THERAPY ON SOCIAL ADAPTATION OF HIV-INFECTED DRUG USERS IN MINSK, BELARUS.....19
Stolyarenko P., Bayrikov I., Dedikov D., Bayrikov A. HISTORY OF DEVELOPMENT OF MAXILLOFACIAL TRAUMATOLOGY (FROM ANTIQUITY TO THE PRESENT). PART 8.....8	

TECHNICAL SCIENCES

Gavrilov T., Tymoshenko A. PROGRAMMING OF POINT BELONGING TO THE POLYGON SEARCH ALGORITHM BY THE CONDITION OF MUTUAL NON-INTERSECTION OF DETAILS.....24	Boyko P., Bondar M., Kuts A. THE USE OF POLIHEKSAMETHYLENEGUANIDINE (PHMG) SALTS IN ALCOHOL PRODUCTION FROM STARCH-CONTAINING RAW MATERIALS45
Agamaliyev M., Ahmadova J., Farzaliyev R. SEA WATER DESALINATION TECHNOLOGY BASED ON HYBRIDIZATION OF THERMAL AND MEMBRANE DISTILLATION METHODS.....29	Kis G., Cherevyk V. FRACTAL BLOCK TRUNCATION CODING50
Akhmedov B., Akhmedova G. USING OF UAV IN COLLECTING GEOSPATIAL DATA FOR THE PURPOSE OF SOLVING ENGINEERING PROBLEMS IN URBAN CONSTRUCTION.....41	Kyselov V., Kyselova A., Klyuchka K., Protasov S., Semko I. CONDITIONS FOR EFFECTIVE APPLICATION OF RELIABILITY ASSESSMENT METHODS OF THE FUNCTIONING OF ELECTRICAL DEVICES55
	Lukina G., Parfirova A., Parfenova V. THE INFLUENCE OF AN UNBALANCED LOAD ON THE QUALITY INDICATORS OF ELECTRICAL ENERGY.....60

MEDICAL SCIENCES

AZITHROMYCIN AND ITS APPLICATION

Shtaniuk E.,

PhD, assistant

Kharkiv National Medical University, Kharkiv

Kovalenko T.,

PhD, senior lecturer

Kharkiv National Medical University, Kharkiv

Vovk O.

PhD, associate professor,

Kharkiv National Medical University, Kharkiv

АЗИТРОМІЦИН (AZITHROMYCIN) ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Штанюк Є.,

канд. мед. н., асистент

Коваленко Т.І.,

канд. біол. н., старший викладач

Харківський національний медичний університет, м. Харків

Вовк О.О.

канд. мед. н., доцент,

Харківський національний медичний університет, м. Харків

Abstract

In today's world, the treatment of various infections in clinics and hospitals is not without the appointment of antibiotics. Of particular importance are macrolides. They are an alternative to beta-lactam antibiotics due to the wider spectrum of action, including atypical pathogens. Nowadays, macrolides have been replenished with modern drugs, such as azithromycin, clarithromycin with higher antibacterial action. The new macrolides differ from the old ones by higher and stable bioavailability after ingestion, a longer half-life, which reduces the frequency of drug administration. The aim of the study was to present modern views on azithromycin, its structure, spectrum of antibacterial action, relevance and indications for use, features of pharmacokinetics, bioavailability, course of administration and side effects.

Анотація

У сучасному світі лікування різних інфекцій в клініках та лікарнях не обходиться без призначення антибіотиків. Особливе значення мають макроліди. Вони є альтернативою бета-лактамним антибіотикам завдяки ширшому спектру дії, включаючи атипичних збудників. У наш час макроліди поповнилися сучасними препаратами, такими як азитроміцин, кларитроміцин з вищою антибактеріальною дією. Нові макроліди відрізняються від старих більш високою та стабільною біодоступністю після прийому всередину, більш тривалим періодом напіввиведення, що зменшує частоту прийому препарату. Метою дослідження було представити сучасні погляди на азитроміцин, його структуру, спектр антибактеріальної дії, актуальність та показання до застосування, особливості фармакокінетики, біодоступність, курс прийому та побічні ефекти.

Keywords: antibiotics, macrolides, azithromycin.

Ключові слова: антибіотики, макроліди, азитроміцин.

Вступ.

Азитроміцин є напівсинтетичним антибіотиком, першим представником підкласу азалідів, які декілька відрізняються за структурою від класичних макролідів. Розроблений фармацевтичною компанією Pliva (Хорватія) [4].

Метою дослідження було представити сучасні погляди на азитроміцин, його структуру, спектр антибактеріальної дії, актуальність та показання до застосування, особливості фармакокінетики, біодоступність, курс прийому та побічні ефекти.

Макроліди - група лікарських засобів, здебільшого антибіотиків, основою хімічної структури яких є макроциклічні 14 - або 16-членне лактонне кільце, до якого приєднані один або кілька вугле-

водних залишків. Макроліди відносяться до класу полікетидів, сполученням природного походження. Макролідні антибіотики діляться на кілька груп в залежності від способів отримання та хімічної структурної основи. Хімічна класифікація передбачає поділ препаратів на 3 групи, залежно від числа атомів вуглецю в лактонному кільці - 14 -, 15 - і 16-членні, причому 15-членні препарати правильніше називати не макролідами, а азалідами, так як в кільце включений атом азоту [18]. За походженням макроліди підрозділяються на природні, напівсинтетичні і проліки. До останніх відносяться ефіри, солі і солі ефірів природних макролідів.

Азитроміцин одержаний модифікацією 14-членних макролідів шляхом включення атома азоту в лактонне кільце між 9 і 10 атомами вуглецю. Кільце при цьому перетворюється в 15-членне, хоча і перестає бути лактонним. Дана структурна перебудова обумовлює значне підвищення кислотостійкості [19]. Це антибактеріальний засіб широкого спектра дії, діє бактеріостатично. Зв'язується з 50S-субодиницею рибосом, пригнічує пептидтранслокази на стадії трансляції, пригнічує синтез білка, сповільнює ріст і розмноження бактерій, у високих концентраціях виявляє бактерицидний ефект, завдяки здатності створювати дуже великі внутрішньоклітинні концентрації на багатьох патогенів, що знаходяться всередині клітин [39]. Активний щодо наступних мікроорганізмів [10, 12, 13, 14, 15, 20, 27, 38]:

- грамположитивні : *Streptococcus spp.* (Груп С, F і G, крім стійких до еритроміцину), *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus viridans*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*;

- грамнегативні : *Haemophilus influenzae*, *Moraxella catarrhalis*, *Bordetella pertussis*, *Bordetella parapertussis*, *Legionella pneumophila*, *Haemophilus ducreyi*, *Campylobacter jejuni*, *Neisseria gonorrhoeae* і *Gardnerella vaginalis*;

- анаеробні мікроорганізми: *Bacteroides bivius*, *Clostridium perfringens*, *Peptostreptococcus spp.*;

- інші мікроорганізми: *Chlamydia trachomatis*, *Chlamydia pneumoniae*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Mycobacterium avium complex*, *Ureaplasma urealyticum*, *Treponema pallidum*, *Borrelia burgdorferi*.

Азитроміцин значно перевершує еритроміцин по дії на *N. gonorrhoeae* і *M. catarrhalis* [12, 14]. Він в 2-4 рази поступається еритроміцину за активністю *in vitro* проти стафілококів і стрептококів, включаючи *S. pneumoniae*, *S. pyogenes* і метицилінчутливі штами *S. aureus* [10, 38]. Азитроміцин, також як і еритроміцин, практично не діє на більшість штамів ентерококів.

Азитроміцин є найактивнішим серед макролідів проти *H. Influenzae* [20], включаючи β-лактамазопродукуючі штами. За ефективністю щодо даного патогена він в 2-8 разів перевершує еритроміцин. Порівняно з еритроміцином азитроміцин дещо краще діє на *Legionella spp.*; *H. ducreyi*, *Campylobacter spp.*, *E. corrodens* і *P. multocida* [27].

Азитроміцин перевершує кларитроміцин по активності проти *Bartonella spp.*, які відіграють етіологічну роль при хворобі "котячих подряпин" і бацилярному ангіоматозі [5]. Азитроміцин перевершує кларитроміцин по активності проти *C. burnetii* - рикетсій, що викликають атипову пневмонію. Так само, як і кларитроміцин, азитроміцин діє на внутрішньоклітинний комплекс *M. avium*, що володіє природною стійкістю до еритроміцину. На відміну від еритроміцину азитроміцин активний проти *T. gondii*, причому діє і на цисти [21]. В експериментальних дослідженнях виявлено, що азитроміцин діє на *Cryptosporidium spp.* Унікальною особливістю азитроміцину є те, що він, на

відміну від еритроміцину та інших макролідів, здатний діяти *in vitro* на окремих представників родини *Enterobacteriaceae*, таких як кишкова паличка, шигели і, в меншій мірі, сальмонели. До азитроміцину нечутливі *Pseudomonas spp.* і *Acinetobacter spp.* [34]. Неактивний відносно грамполозитивних бактерій, стійких до еритроміцину.

Найбільш високі концентрації азитроміцину розвиваються в мигдалинах, аденоїдах, бронхіальному секреті, слизовій оболонці бронхів, рідині, що вистилає епітелій альвеол, ексудаті середнього вуха. Вони набагато перевищують мінімальні пригнічуючі концентрації антибіотика для патогенів, які найбільш часто викликають інфекції відповідної локалізації [32].

Порівняно з еритроміцином азитроміцин значно краще проникає в придаточні пазухи носа [11]. Через 24-96 годин після прийому азитроміцину в дозі 500 мг його концентрації в слизовій бронхів в 200 раз, а в рідині, що вистилає епітелій, в 80 разів перевищують концентрації в сироватці. Важливі клінічні значення набуває той факт, що високі концентрації азитроміцину в різних бронхолегеневих структурах зберігаються протягом декількох днів після його відміни.

Здатність азитроміцину проникати в різні органи і тканини організму і накопичуватися в них у великих концентраціях, які значно перевищують сироваткові, обумовлена високою ліпофільністю препарату. У тканинах азитроміцин локалізується переважно внутрішньоклітинно, накопичуючись особливо у великих кількостях в лізосомах альвелярних макрофагів, нейтрофілів, моноцитів і фібробластів, причому останні є найбільш об'ємним і стабільним депо препарату. За ступенем накопичення в даних клітинах азитроміцин має переваги перед іншими макролідами. Завдяки акумуляції у фагоцитах, здатних активно захоплювати азитроміцин з крові, інтерстиціальної рідини і фібробластів, препарат селективно розподіляється у вогнища інфекційного запалення. Концентрації антибіотика в осередках інфекції достовірно вище, ніж в здорових тканинах, причому вони корелюють зі ступенем запального набряку [23].

Підвищене накопичення азитроміцину в клітинах забезпечує його високу клінічну ефективність при лікуванні інфекцій, викликаних мікроорганізмами, що накопичуються і розмножуються внутрішньоклітинно. При бронхолегеневих інфекціях це стосується в першу чергу так званих «атипових збудників» - *Chlamydia pneumoniae*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Legionella pneumophila*. Саме при високій ймовірності пневмоній, викликаних вищевказаними мікроорганізмами азитроміцин продовжує залишатися препаратом першої лінії в емпіричній антимікробній терапії позалікарняних пневмоній [13].

Важливою фармакокінетичною особливістю азитроміцину є створення високих і стабільних концентрацій в тканинах і середовищах репродуктивних органів, причому це досягається навіть при одноразовому прийомі. Так, через 24 години після одноразового прийому в дозі 1 г рівень препарату

в тканині передміхурової залози становить 94 мг / л, через 48 годин - 54 мг / л і навіть через 3 тижні він залишається вище МПК для *C. trachomatis* - одного з найбільш частих збудників простатиту [15].

Високі концентрації азитроміцину, що перевищують МПК для *N. gonorrhoeae*, *C. trachomatis* і *U. urealyticum*, створюються також в соку простати і спермі [3, 16]. Відзначено накопичення антибіотика і в інших органах малого тазу у жінок.

При застосуванні у вагітних в дозі 500 мг концентрація азитроміцину в сироватці пуповинної крові та амніотичній рідині були близькі до рівня в сироватці крові матері (0,028 мкг/мл). Найбільш висока концентрація спостерігалася у плаценті (2 мкг/кг). Азитроміцин погано проникає через гематоенцефалічний бар'єр, створюючи дуже низькі концентрації в спинно-мозговій рідині [8].

Особливості фармакокінетики препарату дозволяють застосовувати його один раз в день, що забезпечує високу комплаєнтність лікування. При респіраторних і шкірних інфекціях однаковою мірою лікувальний ефект досягається при призначенні антибіотика як п'яти-, так і триденним курсом.

В останні роки накопичено досить багато даних, що свідчать про те, що висока ефективність азитроміцину при інфекціях дихальних шляхів і ЛОР-органів обумовлена не тільки його антимікробною активністю. Сприятливі результати лікування макролідами можуть бути в значній мірі обумовлені їх протизапальною та імунomodуючою дією. І це не просто теоретичні вигадки: ряд досліджень вже підтвердив важливе значення цих ефектів у таких препаратах, як азитроміцин [35].

Перша фаза імунomodуючої дії азитроміцину полягає в стимуляції дегрануляції нейтрофілів і оксидативного «вибуху», що оптимізує функціонування захисних механізмів запалення. Після досягнення початкового терапевтичного ефекту (наприклад, ерадикації бактерій) відзначаються зменшення концентрації цитокінів / хемокінів і стимуляція апоптозу нейтрофілів, що здатна мінімізувати вираженість запальної реакції (друга фаза дії азитроміцину) [2, 7].

Доведена вченими користь від застосування макролідів при дифузному панбронхіоліті [17] спонукала до оцінки перспектив використання цього класу антибіотиків при інших хронічних запальних захворюваннях дихальних шляхів: муковісцидозі, бронхоектатичній хворобі, бронхіальній астмі, облітеруючому бронхіоліті, хронічному обструктивному захворюванні легень (ХОЗЛ) та хронічному риносинуситі [9].

Доведено, що навіть у невисоких концентраціях азитроміцин сприяє руйнуванню і гальмує подальше утворення біоплівки, що захищають мукоїдні штами *P. aeruginosa*. Крім того, при тривалому використанні антибіотика накопичуються всередині мікроорганізмів і порушують в них синтез білка, що, за деякими даними, може приводити до бактерицидного ефекту [34]. Азитроміцин інгібує у синьогнійної палички феномен «кооператив-

ної чутливості» (quorum sensing) шляхом зниження продукції аутоіндукторів з подальшим зменшенням утворення ІЛ-8.

В цілому застосування макролідів при муковісцидозі має як переваги, так і недоліки. До перших слід віднести зниження частоти інфекційних загострень, покращення функції легень. На жаль, початкове поліпшення функції легень зникає при тривалому лікуванні. Більш того, у хворих на муковісцидоз встановлено формування резистентності *S. aureus* до макролідів в процесі лікування [10]. Клінічне значення цього факту ще належить вивчити.

Застосування азитроміцину при інфекціях нижніх відділів респіраторного тракту (загострення хронічного бронхіту (ХБ), позалікарняних пневмоній (ВП)) засновано, по-перше, на його здатності створювати високі і довгостроково підтримуючі концентрації в бронхіальному секреті, слизовій бронхів, легеневої тканині і рідині, що вистилає епітелій альвеол, а по-друге, на високій активності антибіотика, як проти класичних (*S. pneumoniae*, *H. influenzae*, *M. catarrhalis*), так і атипичних респіраторних патогенів (*Chlamydia spp.*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Legionella spp.*). Він високоефективний і володіє не тільки всіма властивостями, властивими макролідам, а й додатковими протизапальними і постантибіотичними ефектами [6].

Відповідно до діючих рекомендацій макроліди є одним з компонентів комбінованої антибактеріальної терапії (АБТ) у госпіталізованих хворих з позалікарняною пневмонією (ПП) - як в загально-терапевтичних відділеннях, так і в відділеннях реанімації та інтенсивної терапії (ВІТ) [1]. Призначають їх зазвичай разом з лактамами.

Як було доведено закордонними дослідниками, додавання макроліда до флактамного антибіотика призводило до зниження госпітальної летальності у хворих з пневмококовою ВП і бактеріємією. Переваги макролідів не поширювалися на інші антибіотики, які активні по відношенню до атипичних патогенів [30].

На сучасному етапі в урологічній практиці азитроміцин застосовується в основному для лікування захворювань, що передаються статевим шляхом [25, 37, 40]. Однією з найбільш проблемних урогенітальних інфекцій є хламідіоз. Сечостатева сфера уражається серотипами *C. trachomatis* D. К. Отримані в результаті клінічних випробувань дані свідчать про те, що азитроміцин – це препарат з гарною тканинною фармакокінетикою, він у високому ступені накопичується в тканині і секреті передміхурової залози і довгий час там зберігається. Крім того, для антибактеріальних препаратів важливий не тільки рівень препарату в крові і тканинах, але більшою мірою співвідношення тканинних концентрацій і значень МПК (мінімально пригнічуючих концентрацій) для збудника інфекції.

Проведені клінічні дослідження показали, що в даний час азитроміцин є препаратом вибору для лікування урогенітального хламідіозу у невагітних жінок і альтернативним засобом для лікування

цього захворювання в період вагітності. Він також грає важливу роль в профілактиці запальних захворювань органів малого таза [15].

Азитроміцин використовується в лікуванні захворювань, асоційованих з генітальними мікоплазмами. У чоловіків генітальні мікоплазми є причиною уретриту і його ускладнень: простатиту, везикуліту, епідидиміту, баланопоститу, у жінок - уретриту, вагініту, цервіцити, фононих захворювань шийки матки, ендометриту, сальпінгоофориту, передчасних пологів, самовільних викиднів, мертворождення. Ускладненнями запальних процесів, обумовлених генітальними мікоплазмами в органах урогенітальної системи, є безпліддя у чоловіків і жінок [26, 41].

За даними наукової літератури лікування із застосуванням азитроміцину (враховуючи його імуномодулюючий ефект, що виявляється, в першу чергу, в його протизапальній дії) рекомендується пацієнтам із значною або тривалою лімфаденопатією [24].

Азитроміцин є єдиним з напівсинтетичних макролідів, що відносяться до категорії В, яка включає препарати, що не викликають небажаного впливу на перебіг вагітності і плід в експериментах на тваринах [33]. З'явилися і клінічні дані, що свідчать про його безпеку у вагітних [36].

«Нові» макроліди, такі як азитроміцин і кларитроміцин, характеризуються істотно кращою переносимістю, що пов'язано з менш вираженим прокінетичним ефектом. За даними кількох контрольованих досліджень, частота диспептичних розладів (біль у животі, нудота, блювання і / або діарея) при призначенні азитроміцину становить 6-9% [6]. У дуже рідкісних випадках можуть відзначатися головні болі, алергічні реакції, зміни активності печінкових ферментів [4]. При внутрішньовенній інфузії азитроміцин переноситься набагато краще, ніж еритроміцин (рідше нудота, блювота) і кларитроміцин (менше виражена біль у місці введення).

Факторами ризику розвитку кардіотоксичних реакцій при застосуванні макролідів були літній вік, високі дози, повторне призначення препарату, наявність супутніх серцево-судинних захворювань і спільне застосування інших лікарських засобів, які подовжують інтервал QT [28].

По даним закордонних дослідників ризик гепатотоксичної дії у зв'язку з утворенням реактивних метаболітів і лікарських взаємодій найбільш високий для еритроміцину і вкрай малий для азитроміцину. Низький потенціал гепатотоксичності азитроміцину підтверджується і результатами фармакоепідеміологічних досліджень [31].

Частота розвитку важких гепатотоксичних реакцій складає менше 0,01 випадку на 100 тис. призначень, або менше 1 випадку на 10 млн. Зв'язок між азитроміцином і безсимптомним підвищенням активності печінкових ферментів у процесі лікування дітей добре документована [31].

Всмоктування азитроміцину у кишківнику може порушуватися при супутньому призначенні антацидів, що містять магній і алюміній. Тому не-

обхідно дотримуватися перерви в 2 год при одночасному застосуванні антацидів. Не рекомендується застосовувати азитроміцин в поєднанні з алкалоїдами ріжків, оскільки, хоча і не є підтверджених даних про їх взаємодію, не можна повністю виключити небезпеку розвитку ерготизму [29].

В літературі відсутні переконливі докази зміни протромбінового індексу при спільному призначенні варфарину та азитроміцину (у звичайних дозах), але для групи макролідів в комбінації з варфарином зазначено підвищення антикоагуляції, тому пацієнтам необхідний більш ретельний контроль протромбінового часу [13].

Комбінація макролідів з іншими антибіотиками може забезпечити синергічну або адитивну дію. Комбінація макролідів з б-лактамами, рифампіцином використовується при терапії важких позаликарняних пневмоній. Прийнятна комбінація з фторхінолонами і аміноглікозидами. [22].

Висновки.

Таким чином, унікальні властивості азитроміцину (можливість коротких курсів АБТ (3-5 діб), при використанні з лікувальною метою і прийом 1-3 рази на тиждень під час антибіотикопрофілактики, доведена ефективність, низький потенціал міжлікарських взаємодій, відсутність клінічно значущих змін фармакокінетики при одночасному застосуванні з цефалоспорином III покоління, гарна переносимість, доведена безпека, імуномодулюючий та протизапальний ефекти роблять його пріоритетним препаратом для щоденної клінічної практики.

У сучасному великому арсеналі антибактеріальних препаратів, призначених для лікування бронхолегеневих інфекцій азитроміцин продовжує займати важливе місце. З урахуванням різних клінічних ситуацій азитроміцин використовується в різних позиціях (препарат першої лінії, альтернативний антибіотик, комбінація з б-лактамами).

Роботи останніх років виявляють все нові й нові галузі клінічного використання макролідів, це свідчить про те, що можливості даних препаратів ще далеко не вичерпані. Причому спостерігається перехід від первісного універсалізму в застосуванні макролідів до їх диференційованого призначення, виходячи з мікробіологічних і фармакокінетичних даних, підтверджених контрольованими клінічними дослідженнями.

З метою раціонального використання антибіотика потрібно приймати рішення про призначення азитроміцину, враховуючи цілий ряд факторів (клінічна і епідеміологічна ситуація, фармакокінетичні особливості препарату, рівень резистентності, дані доказової медицини, та ін.).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Aydin S., Aydin ME, Ulvi A. et. al. Antibiotics in hospital effluents: occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment plant, and environmental risk assessment. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018; Vol. 8: 1122-1128.
2. Baines KJ, Wright TK, Gibson PG et. al. Azithromycin treatment modifies airway and blood

gene expression networks in neutrophilic COPD. *ERJ Open Res.* 2018; Vol. 5, N. 4 (4): 367-380.

3. Calado J., Castro R., Lopes Â. et. al. Antimicrobial resistance and molecular characteristics of *Neisseria gonorrhoeae* isolates from MSM. *Int J Infect Dis.* 2018; Nov 6. pii: S1201-9712 (18) 34578-8.

4. Choi Y., Lim HS, Chung D. et. al. Risk Evaluation of Azithromycin-Induced QT Prolongation in Real-World Practice. *Biomed Res Int.* 2018; Vol. 14: 1574-1806.

5. Effectiveness of antibiotic therapy in pediatric patients with cat scratch disease. *J Burn Care Res.* 2018 Nov 15. DOI: 10.1093 / jbcr / iry059.

6. El-Sokkary RH, Ramadan RA, El-Shabrawy M. et.al. Community acquired pneumonia among adult patients at an Egyptian university hospital: bacterial etiology, susceptibility profile and evaluation of the response to initial empiric antibiotic therapy. *Infect Drug Resist.* 2018; Vol. 3: 114-118.

7. Gharib SA, McMahan RS, Eddy WE et. al. Transcriptional and Functional Diversity of Human Macrophage Repolarization. *J Allergy Clin Immunol.* 2018; Vol. 13: 359-373.

8. Goto A., Hagiwara-Nagasawa M., Izumi-Nakaseko H. et. al. Use of microminipigs for unveiling unknown mechanisms of azithromycin-induced cardiovascular death. *J Pharmacol Sci.* 2018 Oct 17. pii: S1347-8613 (18) 30187-7.

9. Herath SC, Normansell R., Maisey S. et. al. Prophylactic antibiotic therapy for chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Cochrane Database Syst Rev.* 2018 Oct 30; 10: CD009764.

10. Islam T., Kubra K., Hassan Chowdhury MMJ Prevalence of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* in Hospitals in Chittagong, Bangladesh: A Threat of Nosocomial Infection. *Microsc Ultrastruct.* 2018; Vol. 2, N. 6 (4): 188-191.

11. Izadi M., Dadsetan B., Najafi Z. et. al. Levofloxacin versus Ceftriaxone and Azithromycin Combination in the Treatment of Community Acquired Pneumonia in Hospitalized Patients. *Recent Pat Antiinfect Drug Discov.* 2018; Vol. 3: 44-51.

12. Kasai A., Ohta A., Maeda Y. et.al. Novel mechanism responsible for high-level macrolide resistance in *Moraxella catarrhalis*. *Infect Drug Resist.* 2018; Vol. 2: 15-21.

13. Kawakami N., Namkoong H., Ohata T. et. al. A Fulminant Case of Acute Respiratory Distress Syndrome Associated with *Mycoplasma Pneumonia* Treated with Nasal High-Flow Oxygen Therapy. *Case Rep Crit Care.* 2018; Vol. 21: 467-593.

14. Kenyon CR Association between intensity of STI screening and development of antimicrobial resistance in *N. gonorrhoeae* in 12 cities in the USA: An ecological study Version 2. *F1000 Res.* 2018 Aug 10 [revised 2018 Jan 1]; 7: 1237.

15. Kim SH, Chun J., Ko K., H. et. al. Effects of antenatal azithromycin for *Ureaplasma* spp. on neonatal outcomes. *Pediatr Int.* 2018; Vol. 1: 1122-1134.

16. Kubanov AA, Runina AV, Chestkov AV et. al. Whole-Genome Sequencing of Russian *Neisseria Gonorrhoeae* Isolates Related to ST 1407 Genogroup. *Acta Naturae.* 2018; Vol.10 (3): 68-76.

17. Lin CY, Yeh TL, Liu SJ et. al. Effects of Macrolide Treatment during the Hospitalization of Children with Childhood Wheezing Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med.* 2018; Vol. 9, N. 7 (11): 467-472.

18. Li X., Zeng Y., Chen F. et. al. Synthesis of Zeolite from Carbothermal Reduction Electrolytic Manganese Residue for the Removal of Macrolide Antibiotics from Aqueous Solution. *Materials (Basel).* 2018; Vol. 30, N. 11 (11): 36-44.

19. Loreto E. S, Tondolo JSM, de Jesus FPK et. al. Efficacy of azithromycin and miltefosine in experimental systemic pythiosis in immunosuppressed mice. *Antimicrob Agents Chemother.* 2018 Oct 29. pii: AAC.01385-18.

20. Magdaleno-Tapial J., Valenzuela-Oñate C., Giacaman-von der Weth MM et. al. *Haemophilus* Species Isolated in Urethral Exudates as a Possible Causative Agent in Acute Urethritis: A Study of 38 Cases. *Actas Dermosifiliogr.* 2018 Oct 31. pii: S0001-7310 (18) 30397-1.

21. Montazeri M., Mehrzadi S., Sharif M. et. al. Drug Resistance in *Toxoplasma gondii*. *Front Microbiol.* 2018; Vol. 9: 2587-2590.

22. Oldenburg CE, Arzika AM, Maliki R. et. al. Safety of azithromycin in infants under six months of age in Niger: A community randomized trial. *PLoS Negl Trop Dis.* 2018 Vol. 12, N. 12 (11): 56-77.

23. Ozsvari B., Nuttall JR, Sotgia F. et. al. Azithromycin and Roxithromycin define a new family of "senolytic" drugs that target senescent human fibroblasts. *Aging (Albany NY).* 2018; Vol. 14: 1223-1234.

24. Panich J., Gooden A., Shirazi FM et. al. Warnings for drug-drug interactions in consumer medication information provided by community pharmacies. *J Am Pharm Assoc.* 2018; Vol. 8: 178-190.

25. Piñeiro L., Idigoras P., de la Caba I. et. al. Guided antibiotic therapy for *Mycoplasma genitalium* infections: Analysis of mutations associated with resistance to macrolides and fluoroquinolones. *Enferm Infecc Microbiol Clin.* 2018; Vol. 2: 677-680.

26. Roca A., Camara B., Oluwalana C. et. al. Long-lasting effect of oral azithromycin taken by women during labor on infant nutrition: Follow-up cohort of a randomized clinical trial in western Gambia. *PLoS One.* 2018 Oct 25; 13 (10): e0206348.

27. Schiaffino F., Colston JM, Paredes Olortegui M. et. al. Antibiotic Resistance of *Campylobacter* spp. in a Pediatric Cohort Study. *Antimicrob Agents Chemother.* 2018; Vol. 12: 334-346.

28. Seys SF, Lokwani R., Simpson JL et. al. New insights in neutrophilic asthma. *Curr Opin Pulm Med.* 2018; Vol. 12: 768-771.

29. Shrestha B., Dixit SM The Assessment of Drug Use Pattern Using WHO Prescribing Indicators. *J Nepal Health Res Counc.* 2018; Vol. 3, N 16 (3): 279-284.

30. Sidhu H., O'Connor G., McAvoy D. Risk assessment of biosolids-borne ciprofloxacin and azithromycin. *Sci Total Environ.* 2019 Feb 15; 651 (Pt 2): 3151-3160. DOI: 10.1016 / j. sci-totenv.2018.10.194. Epub 2018 Oct 15.

31. Takano Y., Hoshino M., Iriyama S. et. al. Gallbladder agenesis with hepatic impairment: a case report. BMC Pediatr. 2018; Vol. 3, N. 18 (1): 360.
32. The Potential Impact of Azithromycin in Idiopathic Pulmonary Fibrosis. J Pediatr Pharmacol Ther. 2018 Sep-Oct; 23 (5): 390-394. DOI: 10.5863 / 1551-6776-23.5.390.
33. Tian J., Sun S., Zhao Z. et. al. Pharmacokinetic interaction between shuanghuanglian and azithromycin injection: A nonlinear mixed-effects model analysis in rats. 2018; Vol. 20: 3-19.
34. Using Small Molecule Adjuvants to Repurpose Azithromycin for Use Against Pseudomonas aeruginosa. Eur Respir J. 2018 Nov 15. pii: 1800628. DOI: 10.1183 / 13993003.00628-2018.
35. Wu F., Zhao X., Li X. et. al. Population Pharmacokinetic Modeling of Azithromycin Eyedrops in Tears Following Single-Dose Topical Administration in Healthy Volunteers. J Drug Metab Pharmacokinet. 2018; Vol. 4: 1289-1293.
36. Wu YH, Tseng CK, Lin CK et. al. ICR suckling mouse model of Zika virus infection for disease modeling and drug validation. PLoS Negl Trop Dis. 2018; Vol. 24, N. 12 (10): 557-560.
37. Yéo A., Kouamé-Blavo B., Kouamé C., E. et. al. Establishment of a gonococcal antimicrobial surveillance program (GASP), in accordance with WHO standards, in Ivory Coast, West Africa, 2014-2017. Sex Transm Dis. 2018; Vol. 3: 234-245.
38. Yin JY, Zhang W., Yang DJ et. al. Etiological characteristics of Streptococcus pyogenes isolated from children with scarlet fever in Tianjin from 2012 to 2016. 2018; Vol. 6, N 52 (10): 1045-1049.
39. Yi X., Lin C., Ong E.J.L. et. al. Occurrence and distribution of trace levels of antibiotics in surface waters and soils driven by non-point source pollution and anthropogenic pressure. Chemosphere. 2019; Vol. 26: 213-223.
40. Yousfi K., Gaudreau C., Pilon PA et. al. Genetic mechanisms behind the spread of reduced susceptibility to azithromycin in Shigella isolated from men who have sex with men, in Québec, Canada. Antimicrob Agents Chemother. 2018; Vol. 19: 146-158.
41. Zhang J., van der Veen S. Neisseria gonorrhoeae 23S rRNA A2059G mutation is the only determinant necessary for high-level azithromycin resistance and improves in vivo biological fitness. J Antimicrob Chemother. 2018; Vol. 4: 880-900.

HISTORY OF DEVELOPMENT OF MAXILLOFACIAL TRAUMATOLOGY (FROM ANTIQUITY TO THE PRESENT). PART 8

Stolyarenko P.,

PhD, assistant professor of the Chair of maxillofacial surgery and dentistry Samara State Medical University

Bayrikov I.,

corresponding member of RAS, MsD, professor, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, head of the Chair of maxillofacial surgery and dentistry of Samara State Medical University

Dedikov D.,

Head of the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Research Institute-Regional Clinical Hospital № 1 named. prof. S.V. Ochapovsky, Krasnodar

Bayrikov A.

PhD, assistant of the Department of Prosthetic Dentistry, Samara State Medical University, Samara, Russia

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ТРАВМАТОЛОГИИ (ОТ ИСТОКОВ ДО СОВРЕМЕННОСТИ). ЧАСТЬ 8

Столяренко П.Ю.,

кандидат медицинских наук, доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии и стоматологии Самарского государственного медицинского университета

Байриков И.М.,

член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии и стоматологии Самарского государственного медицинского университета

Дедиков Д.Н.,

заведующий отделением челюстно-лицевой хирургии Научно-исследовательского института-Краевой клинической больницы № 1 им. проф. С.В. Очаповского, г. Краснодар

Байриков А.И.

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры ортопедической стоматологии Самарского государственного медицинского университета, г. Самара, Россия

Abstract

The beginning of a series of articles on the history of the development of traumatology of the maxillofacial area is published in No. 39/2020–45/2021. The eighth part is devoted to the state of assistance to the wounded in the maxillofacial region in Germany in the pre-war period and during the First World War. The contributions of Anton Rudolf Hohl (1838–1872), Hans Körner, Carl Sauer (1835–1892), Hermann Schröder (1876–1942) and others are noted. The illustrations of the applied methods of treatment are given. Brief information about the American military surgeon Wilray Blair (1871–1955) is given. To be continued.

Аннотация

Начало цикла статей по истории развития травматологии челюстно-лицевой области опубликовано в № 39/2020–45/2021. Восьмая часть посвящена состоянию помощи раненым в челюстно-лицевую область в Германии в предвоенный период и во время Первой мировой войны. Отмечен вклад Антона Рудольфа Холла (1838–1872), Ганса Кёрнера, Карла Зауэра (1835–1892), Германа Шрёдера (1876–1942) и других. Приведены иллюстрации применяемых методов лечения. Даны краткие сведения об американском военном хирурге Вилрее Блэре (1871–1955). Продолжение следует.

Keywords: history, maxillofacial traumatology in Germany, First World War.

Ключевые слова: история, челюстно-лицевая травматология в Германии, Первая мировая война.

СОСТОЯНИЕ ПОМОЩИ РАНеным В ЧЕ- ЛЮСТНО- ЛИЦЕВУЮ ОБЛАСТЬ В ГЕРМАНИИ В ПРЕ- ДВОЕННЫЙ ПЕРИОД И ВО ВРЕМЯ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

Лечение переломов костей, а также переломов челюстей до второй половины XIX века в Германии почти исключительно проводилось хирургами. Применяли наружные повязки и иммобилизацию аппаратами, особенно сшивание кости проволокой [1].

С развитием зубопротезирования и применением внутриротных материалов, таких как гуттаперча, каучук и металлические шины во второй половине XIX века постоянно приходили к внедрению более целевые методы лечения переломов челюстей, которые требовали особую зубопротезную технику (навык) в обращении с материалом (Schröder H, 1911; Reichenbach E, 1935; Berenyi B, 1969; Härle F, 1989; Hoffmann-Axthelm W, 1995) [2, 3, 1, 4–5].

Anton Rudolf Hohl (1838–1872) подробно представил два случая лечения пациентов с переломами нижней челюсти (рис. 1). Первый случай относился к раненому на войне солдату с огнестрельным переломом нижней челюсти слева при

потере боковых зубов. Здесь Холл восстановил по отгиску отломки нижней челюсти и неповреждённой верхней челюсти с помощью гипсовой модели нижнечелюстной дуги, а также сопоставления в прикусе, и установил на полученную таким образом репозиционную модель на нижнюю челюсть шину из вулканизированного каучука, на месте перелома жестко перекрывающую и охватывающую в форме гирлянды альвеолярный отросток ниже выемки на жевательной поверхности. Через язычные и вестибулярные участки шины на правой половине нижней челюсти в области межзубных промежутков между зубами 4.5 и 4.6 была проведена укрепляющая платиновая проволока. Чтобы обеспечить точную припасовку шины, Холл при постановке шины после репозиции отломков в зазор между каучуковой шиной и шейками зубов вносил размягчённую гуттаперчу.

С этой одночелюстной шиной были возможны нормальное открывание рта и окклюзия, а также приём жидкой пищи. Поскольку в результате потери костного вещества из-за огнестрельного ранения образование новой кости в области перелома было замедленным, раненый носил шину более 4 недель, впоследствии ему изготовлен частичный протез на нижнюю челюсть.

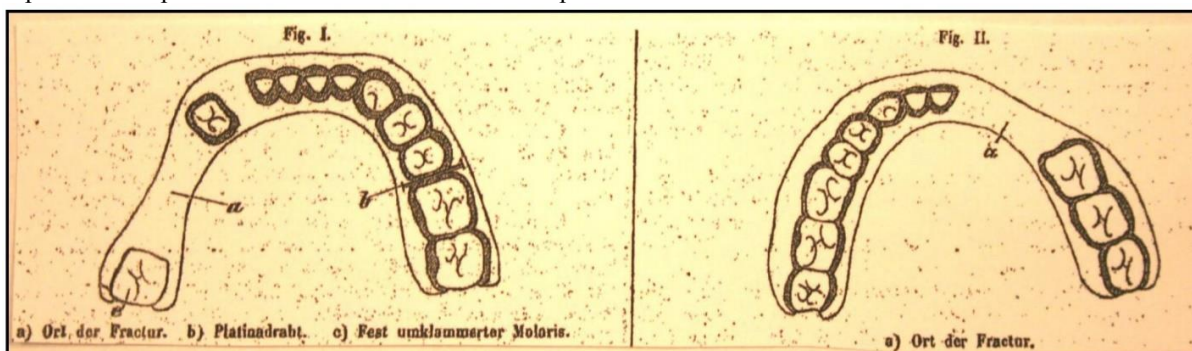


Рис. 1. Репродукция иллюстраций из оригинальной статьи AR Hohl. Показывается чертёж каучуковой шины для лечения перелома тела нижней челюсти; а – место перелома, b – платиновая проволока, с – прочный кламмер, охватывающий моляр. Ил. no: Schubert J, 2011 [6]

Заканчивает описание лечения перелома нижней челюсти Холл несчастным случаем при ремонте паровой машины в Галле (рис. 1, слева). После того, как обычным способом с помощью слепков и моделей произведено восстановление челюстной дуги, на вправленную модель была установлена каучуковая шина, вокруг шеек зубов нанесена размягчённая гуттаперча. Уже на следующий день пострадавший не испытывал боль и ел с шиной во рту. Через три недели после начала лечения наступила клиническая консолидация.

С его оригинальными методами одночелюстного шинирования с использованием современных для того времени материалов, чертежей (моделей) и зубоорудочного материала для шинирования Холл, несомненно, является пионером в лечении переломов челюстей последней трети XIX века. По праву эта вышеописанная публикация о лечении переломов челюстей [7] включена в соответствующий раздел руководств по зубоорудочеству (Bleichsteiner A, 1892) [8].

Одночелюстные методы шинирования, такие как каучуковые шины Вебера-Хауна (рис. 2) в Германии использовали при лечении переломов челюстей позже, особенно во время Первой мировой войны (Herber C, 1915; Hauptmeyer F, 1917; Soerensen J, Warnekros L, 1917; Sonntag E, 1930; Hoffmann-Axthelm W, 1995) [9–12, 5] до второй половины XX века (Weiskopf J., 1969; Härtel J, Petz R, 1981) [13, 14].

Во время Первой мировой войны показано, какое исключительное значение имело сотрудничество между хирургами и зубными врачами в специальном лечении челюстно-лицевых травм, поскольку только таким образом можно было ожидать оптимального результата лечения (Soerensen J., Warnekros L., 1917) [11]. В это время государственные и частные больницы, университетские помещения и залы клубов были переоборудованы в госпитали (рис. 2–4).



Рис. 2. Модифицированная шина Вебера-Хауна из каучука и гуттаперчи для лечения перелома нижней челюсти из коллекции клиники болезней зубов, полости рта и челюстей университета Мартина-Лютера, Галле-Виттенберг. Каучуковая часть охватывает альвеолярный отросток и зубы, гуттаперча частично заполняет участки в области шеек зубов. Ил. по Schubert J, 2011 [15]. Публикуется с разрешения

Теоретическое и практическое обучение зубоорудочеству в университете в Галле взял на себя в 1896 году доктор Ганс Кёрнер (рис. 3) [15].



Рис. 3. Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Körner (1862–1929), первый профессор зубо врачевания и директор стоматологического института университета Галле с 1897 до 1927 г., заведовал челюстным госпиталем с 1915 по 1920 г., член «Леопольдины» (немецкого общества естествоиспытателей) с 1925 г. (Privatarchiv Prof. Schneider, Halle). Ил. по [16]

Во время Первой мировой войны Кёрнер, как и большинство немецких зубных врачей, был призван в медицинскую службу и первоначально был

медицинским начальником санитарного поезда, действующего во Франции и России – рис. 4 и 5 [17].

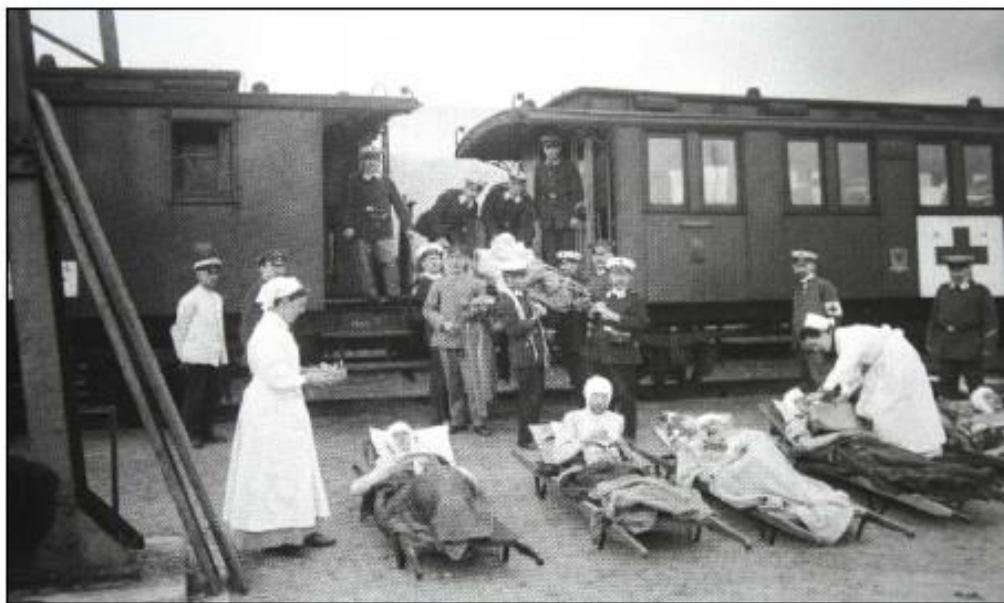


Рис. 4. Выгрузка раненых солдат из санитарного поезда в Первую мировую войну. Железная дорога играла важную роль в медицинской тактике того времени, которая предусматривала быструю транспортировку раненых в лазареты на родину (Neuner, 2009) [17]



Рис. 5. Зубной врач из Галле д-р Бруно Гюнтер (1879–1959), второй справа, во время Первой мировой войны работал военным зубным врачом в зубохирургическом отделении. Западный фронт. (Privatarchiv Prof. Schneider)

В войсковой сумке инструментов неотложной зубохирургической помощи помимо набора для военных зубных врачей был и специальный инструментарий для лечения переломов челюстей [18]. Из-за нехватки зубных врачей такой сумкой снабжались и прикомандированные войсковые врачи. Наряду с щипцами для удаления зубов, пломбиро-

вочными инструментами и материалами, имелись также и проволочные плоскогубцы, спиртовка, а также проволока для шинирования при переломах челюстей (2 мм толщина) и лигатурная проволока (0,45 мм) – рис. 6.



Рис. 6. Войсковой набор инструментов № 165, наряд 5 для войсковых врачей. Копия фотографии подлинного экспоната из музея истории стоматологии в Чадрасе (Privatarchiv Prof. Schneider, Halle). Публикуется с разрешения

Во время войны государственные и частные больницы, университетские учреждения и общественные объединения были включены в систему госпиталей (рис. 7, 8) [19].

После возвращения с фронта в 1915 году Кёрнер получил поручение на организацию дополнительного госпиталя городском стрелковом доме в Галле в качестве «челюстного госпиталя», в кото-

рый переводили всех военнослужащих с ранениями челюстей из района IV армейского корпуса. Еще в 1916 году Кёрнер, который в то же время имел титул "Тайный советник", был удостоен за это Железного креста. Челюстной госпиталь во время войны насчитывал до 250 коек, просуществовал до 1920 года и курировался Кёрнером вместе с тремя ассистентами стоматолога [20, 21].



Рис. 7. Здание в г. Галле (сегодня Конгресс-центр), в котором с 1914 по 1920 год находился военный госпиталь (Scherer E, 2008). Под руководством Prof. Dr. H. Körner с марта 1915 года был госпиталем на 250 коек для лечения солдат, раненных в челюстно-лицевую область. Ил. по: Schneider F, 2012 [16]. Публикуется с разрешения



Рис. 8. Раненые солдаты (1914 год) в госпитале святой Елизаветы в Галле, который, как и другие медицинские учреждения в годы Первой мировой войны был военным госпиталем. (Privatarchiv Prof. Schneider, Halle). Публикуется с разрешения

Приводим некоторые из многих методов лечения переломов нижней челюсти (рис. 9, 10).

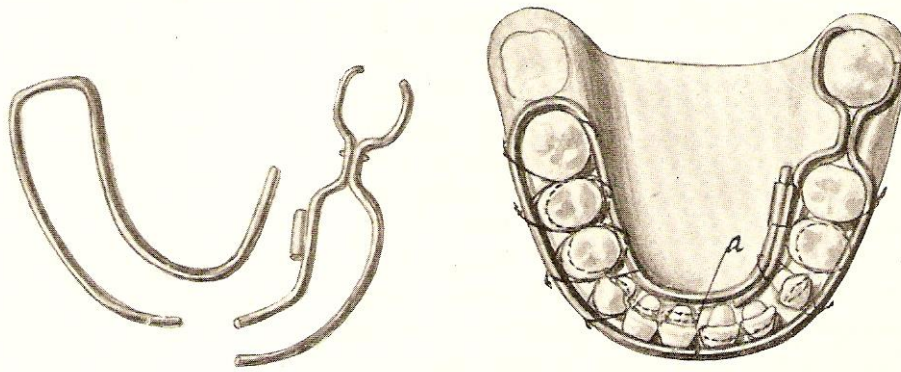


Рис. 9. Раздельная проволочная повязка Зауэра. Ил. по [2]

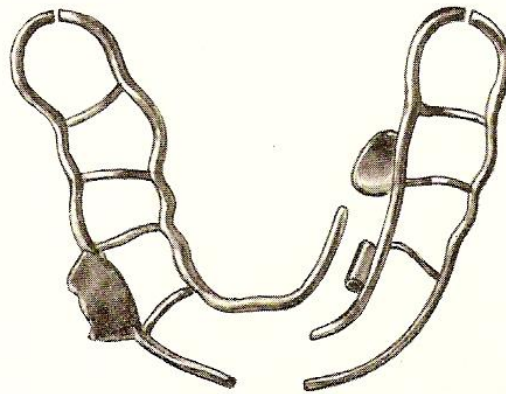


Рис. 10. Раздельная с противоположно действующими наклонными плоскостями проволочная повязка Зауэра. Ил. по [2]

Раздельная проволочная шина для репозиции и фиксации перелома тела нижней челюсти [22] была вариантом экстренной проволочной повязки [23] из железной или бронзо-алюминиевой проволоки и применялась во время Первой мировой войны для лечения переломов челюсти (Williger F, Schröder H, 1915) [24]. Более подробные сведения о Карле Зауэре представлены в 3 части нашего цикла статей [25].

Немецкие военные стоматологи могли эффективно лечить травмы челюстей, потому что у них была хорошая базовая подготовка, соответствующее оборудование, а также войсковые «Зубобра-

чебные военные инструменты для лечения переломов челюсти профессора д-ра Шрёдера и стоматолога хирурга Эрнста из Берлина» (Schulz CD, 1993) [18]. Книги и специальные издания по травматологии челюстно-лицевой области, такие как «Руководство по зубохирургическим повязкам и протезам» (Schröder H., 1911) [2], «Зубохирургическая помощь на фронте» (Williger F, Schröder H, 1915) [24] или «Военный стоматолог» (Warnekros L., 1914) были частью стандарта профессиональной стоматологической подготовки в начале войны (рис. 11, 12) [26].



Рис. 11. В Бюллетене Германа Мойсера (Берлин, 1914) помещены сведения о монографиях и врачебных руководствах, справочниках по стоматологии профессоров Стоматологического института Королевского Берлинского университета Ф. Виллигера и Г. Шрёдера, Б. Мёринга, д-ра Г. Румпеля, проф. В. Дика, зубного врача Эрнста [27]

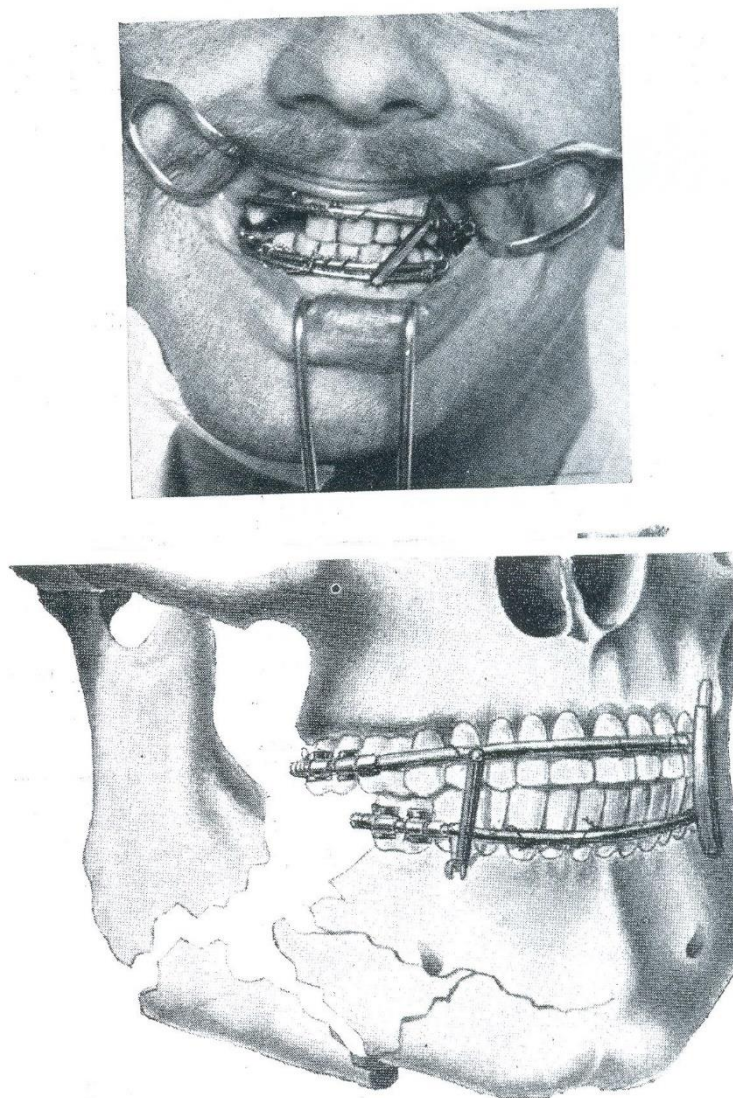


Рис. 12. Иллюстрации из монографии F. Williger u H. Schröder «Зубоврачебная помощь на фронте». Берлин. 1914 г. [24]

НЕМЕЦКАЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА 1911–1914 гг.

1. Prof. Dr. F. Williger und Prof. Dr. H. Schröder, Berlin: Die Zahnärztliche Hilfe in Felde. Mit 63 Abbildungen im Text. Preis Mark 3.60.

2. Bruno Möhling, Berlin: Zur Indikation und Technik der Unterkiefer-Resektionsprothese. Mit 57 Abbildungen im Text. Preis Mark 3.

3. Prof. Dr. F. Williger, Berlin: Chirurgische Verbandlehre für Zahnärzte. Prof. Dr. Dieck, Berlin: Anleitung zur Röntgendiagnostik der Schußverletzungen der Kiefer. Mit vielen Abbildungen im Text. Preis etwa 3 Mark.

4. Prof. Dr. H. Schröder, Berlin: Bericht und Kasuistik der Behandlung von Schußverletzungen der Kiefer.

5. Prof. Dr. F. Williger, Berlin: Kleine Verbandlehre für Zahnärzte. Prof. Dr. Dieck, Berlin: Anleitung zur Röntgenuntersuchung der Schußverletzungen der Kiefer. Beide Arbeiten in einem Heft. Preis ca. 3 Mark.

6. Prof. Dr. H. Schröder, Dr. C. Rumpel und Zahnarzt Ernst, Berlin: Bericht und Kasuistik über die Behandlung von Schußverletzungen der Kiefer.

7. Prof. Dr. H. Schröder, Berlin: Handbuch der zahnärztlich-chirurgischen Verbände und Prothesen. Band I. Frakturen und Luxationen der Kiefer. 191 Seiten in Quartformat. – Mit 121 Abbildungen. – 1911. Preis broschirt M. 13.50, gebunden M. 15. [27].

Цифры по травмам и ранениям челюстей у солдат неполные и только условно могут быть проанализированы. В публикации для военной стоматологии во время Первой мировой войны приводятся причины 29 740 ранений челюстно-лицевой области:

- 52,20 % от винтовочных выстрелов,
- 42,20 % от артиллерийских снарядов,
- 2,60 % от ручных гранат,
- 0,25 % пистолетом,
- 0,16 % холодным оружием,
- 2,59 % от других выстрелов.

Случаи смерти, вызванные травмами челюсти, в этом списке не были учтены [18].

Во время Первой мировой войны травма челюстно-лицевой области уже носила характер эпидемии. V.P. Blair (рис. 13) сообщал, что у более чем 3000 получивших ранения из 8000 американских солдат, исход был летальным.



Рис. 13. *Vilray Papin Blair (1871–1955) — профессор, военный хирург, пионер американской пластической и восстановительной хирургии*

Когда США вступили в Первую мировую войну, Блэр был выбран для руководства врачами в лечении поврежденных, вызванных войной. Блэр работал с помощником Робертом Айви, чтобы обучить хирургов и стоматологов лечению травм челюстей с помощью книги, опубликованной Блэром в 1912 г. как оперативного руководства. Без методики доктора Блэра многие солдаты никогда не жили бы нормальной жизнью. Когда Блэр вернулся в Соединенные Штаты после окончания войны, он создал один из крупнейших мультидисциплинарных коллективов США для лечения сложных травм в госпитале Уолтера Рида. Блэр был известен как лидер в восстановлении последствий огнестрельной травмы, улучшении качества жизни многих пострадавших.

Ведущими причинами смерти были аспирация и обструкция дыхательных путей в процессе транспортировки в лечебные учреждения (рис. 14, 15).

Данный факт привёл в последующем к возникновению воздухопроводов и отказу от транспортировки раненых в положении лёжа на спине (VP Blair). Препятствиями при лечении пациентов с челюстно-лицевой травмой являлись большой промежуток времени после получения травмы и оказанием специализированной медицинской помощи (от дней до недель), нехватка подготовленных врачей, оказывающих помощь на передовой, и, как результат, возникновение сепсиса почти у всех пациентов (М.В. Habal).

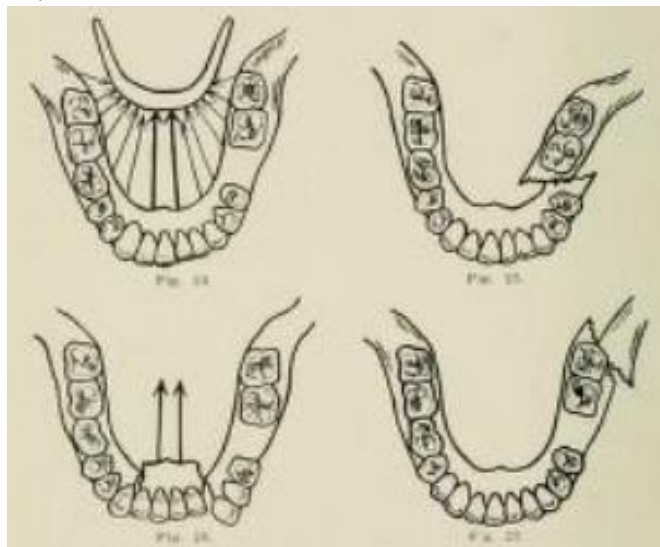


Рис. 14.

Иллюстрация из книги Блэра. Схематичное изображение смещения отломков нижней челюсти [28]

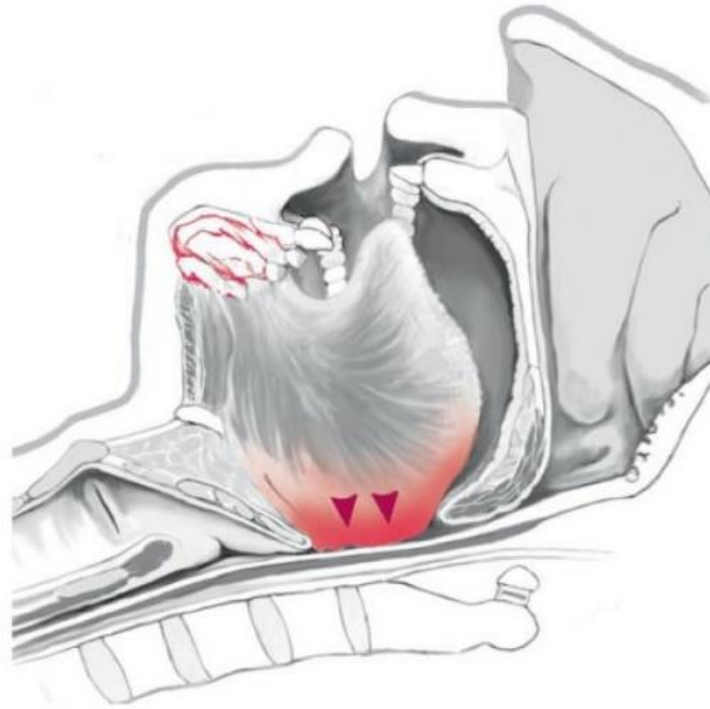


Рис. 15. Дислокация языка при двустороннем переломе нижней челюсти в положении на спине [29]

Таким образом, система организации медицинской помощи раненым в челюстно-лицевую область в предвоенные годы и во время Первой мировой войны в Германии имела пробелы, но была значительно выше, чем в Российской армии [29].

(Продолжение следует)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Berenyi, B. Aus der Geschichte der Behandlung der Gesichtsschädelfrakturen. In: Reichenbach E. (Hrsg.): Traumatologie im Kiefer-Gesichts-Bereich. Barth, Leipzig, 1969. S. 17–31.
2. Schröder, H. Handbuch der zahnaerztlich-chirurgischen Verbaende und Prothesen. Bd. 1: Frakturen und Luxationen der Kiefer. Berlin: Hermann Meusser, 1911. 191 S.
3. Reichenbach, E. Leitfaden der Kieferbruchbehandlung. 1. Aufl. Leipzig: Meusser, 1935. S. 26–111.
4. Härle, F. Die Entwicklung der Arbeitsgemeinschaft für Kieferchirurgie. Dtsch. Zahnärztl. Z. 1989, Bd. 44(12). S. 924–931.
5. Hoffmann-Axthelm, W. Frakturbehandlung im Kiefer-Gesichtsbereich. In: Hoffmann-Axthelm W. (Hrsg.). Die Geschichte der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Berlin: Quintessenz, 1995. S. 145–165.
6. Schubert, J. Stellenwert konservativ-chirurgischer Therapie von Frakturen des lateralen Mittelgesichts. Fortschr Kiefer Gesichtschir. 1991; 36:86–87.
7. Hohl, A. R. Zweiter Bericht über die Klinik für Mundkranke an der Universität. Dtsch. Vschr. Zahnheilk. 1871. Bd. 11, № 3. S. 175–178.
8. Bleichsteiner, A. Kieferbrüche. In: Scheff J. (Hrsg.) Handbuch der Zahnheilkunde, Bd. 2. Hölder, Wien, 1892. S. 77–90.
9. Herber, C. Die Frakturen der Kiefer. 1. Aufl. Berlinische Verlagsanstalt. Berlin, 1915. 206 S.
10. Hauptmeyer, F. Die Behandlung der Brüche des Unter- und Oberkiefers mittels Zahnschienen. In: Partsch C., Bruhn C., Kantorowicz A. (Hrsg.) Handbuch der Zahnheilkunde, Bd. 1. Wiesbaden: Bergmann, 1917. S. 104–145.
11. Soerensen J., Warnekros L. Chirurg und Zahnarzt. 1. Aufl. Berlin: Springer, 1917. S. 1–69.
12. Sonntag, E. Verletzungen. In: Sonntag E., Rosenthal W. (Hrsg.) Lehrbuch der Mund- und Kieferchirurgie. Leipzig: Thieme, 1930. S. 403–434.
13. Weiskopf, J. Die Frakturen des Unterkiefers und ihre orthopädische Behandlung. In: Reichenbach E. (Hrsg.) Traumatologie des Kiefer-Gesichtsbereichs. Leipzig: Barth, 1969. S. 217–254.
14. Härtel J., Petz R. Prinzipien und Methoden der konservativen und operativen Knochenbruchbehandlung. In: Andrä A., Bethmann W., Heiner H. (Hrsg.) Kieferchirurgie-Traumatologie. Leipzig: Barth, 1981. S. 53–68.
15. Schmidt, A. Leben und Werk des Hallenser Zahnmediziners Hans Körner. Diss. Julius-Maximilians-Universität Würzburg. 2001. 151 S. Text : electronic. URL: <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus4-wuerzburg/frontdoor/deliver/index/docId/317/file/ASchmidt.pdf> (date of treatment: 17.03.2021).
16. Schneider, F. Die Entwicklung der Kiefertraumatologie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 2011. 132 S.
17. Neuner, S. Medizin und Militär in der Moderne. Deutschland 1814–1918. In: Larner M, Peto J,

Schmitz CM (Hrsg) Krieg und Medizin. Wallstein, Göttingen, 2009, S. 31–43.

18. Schulz, CD. Die Militärzahnmedizin in Deutschland. In: Deutsche Gesellschaft für Wehrmedizin und Wehrpharmazie EV (Hrsg) Beiträge Wehrmedizin und Wehrpharmazie. Bd. 7 Beta, Bonn, 1993, S. 12–194.

19. Scherer, E. Zeitspuren. Historische militärische Einrichtungen und Monumente in Halle und im Saalkreis. 1. Aufl. druck-zuck GmbH, Halle, 2008, S. 9–83.

20. Körner, H. Verhandlungsberichte: Seltene Fälle von Kiefererkrankungen und Verletzungen. Statistisches etc. aus dem Kieferlazarett in Halle. Dtsch Zahnärztl Wschr. 1920; 23: 196–197.

21. Körner H, Pfaff HW, Vöckler G. Verhandlungsberichte der Vereine. Zahnärztlicher Verein für Mitteldeutschland. 34. Hauptversammlung. Dtsch Zahnärztl Wschr. 1920; 23: 196–197.

22. Sauer, C. Herstellung eines neuen Verbandes bei Unterkieferbrüchen. Dtsch Vschr Zahnheilk. 1881. Bd. 21. S. 362–375.

23. Sauer, C. Notverband bei Kieferbrüchen mit Eisendraht. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 1889. Bd. 7. S. 381–392.

24. Williger F, Schröder H. Die Zahnärztliche Hilfe im Felde. In: Williger F, Kantorowicz A. (Hrsg)

Sammlung Meusser Heft 1. 3. Aufl. Meusser, Berlin, 1915. S. 7–84.

25. Stolyarenko P, Bayrikov I, Dedikov D, Bayrikov A. History of development of maxillofacial traumatology (from antiquity to the present). Part 3. Danish scientific journal. 2020; 1(41): 20–42. Text : electronic. URL: http://www.danish-journal.com/wp-content/uploads/2020/11/DSJ_41_1.pdf (date of treatment: 17.03.2021).

26. Warnekros, L. Der Kriegszahnarzt. 1. Aufl. Berlinische Verlagsanstalt, Berlin, 1914, S. 1–52.

27. Чепик, Г.С. Военная стоматология Российской империи / Г. С. Чепик: монография. Санкт-Петербург : Санкт-Петербург XXI век, 2013. 424 с. Текст : непосредственный.

28. Blair, VP. Surgery and Diseases of the Mouth and Jaws. Third edition. St. Louis: Mosby 1917. 776 p. Text : electronic. URL: <https://archive.org/details/surgerydiseaseso00blai> (date of treatment: 17.03.2021).

29. Столяренко, П.Ю. Вклад Северина Тигерштедта в развитие челюстно-лицевой травматологии (к 100-летию создания универсальной военно-полевой системы шинирования) : монография / П.Ю. Столяренко. Самара : Офорт ; ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 2017. 175 с. Текст : непосредственный. DOI: 10.17513/np.381

INFLUENCE OF OPIOID SUBSTITUTION THERAPY ON SOCIAL ADAPTATION OF HIV-INFECTED DRUG USERS IN MINSK, BELARUS

Shylava M.

*Senior Lecturer of the Department of Epidemiology
Belarusian State Medical University,*

Dotsenko M.

*MD, Ph.D., Professor
Belarusian State Medical University,*

Valchuk I.

*Ph.D., Associate Professor
Belarusian State Medical University,*

Abstract

HIV-infected drug users are doubly stigmatized by society. This study is devoted to the social adaptation issues of HIV-positive injecting drug users and opioid substitution therapy (OST) program influence on this process in Minsk. 211 HIV-positive people who inject drugs (PWID) took part in this study, they were divided into 2 groups: the experimental group which consists of OST program participants ($n_1=83$) and the control group, which includes HIV-positive PWID who don't get OST ($n_2=128$). These groups were comparable in terms of gender, educational level, marital status, and the presence of children ($p>0.05$).

It was established that among the respondents of experimental and control groups, there were no significant differences in employment, the number of previous convictions and awareness about OST program ($p>0.05$). It was found that the share of respondents from the experimental group with long-term (more than 16 years) drug use experience significantly exceeded the share of HIV-infected PWID with a similar drug use experience from the control group ($p<0.05$). ART tolerance among the participants from the control group was significantly better than in the experimental group ($p<0.05$). Majority (97.59% (CI95% 91.57-99.71) in the experimental and 96.09% (CI95% 91.12-98.72) – in the control group) of respondents were treated by an infectious disease doctor. 37.35% (CI95% 26.97-48.66) of the respondents in the experimental group created family, 54.22% (CI95% 42.92-65.21) HIV-infected OST members found a job, 96.39% (CI95% 89.80-99.25) – improved their relations with friends, family, and quality of life in general during their participation in the OST program.

Keywords: HIV infection, IDU, PWID, injecting drug users, questionnaires.

Introduction. The HIV infection spread among risk groups, including people who inject drugs (PWID), is one of the most significant issue in the Eastern Europe and Central Asia (EECA) region [10]. According to researchers' data, the prevalence of HIV infection among PWID in the region can reach 40-50% due to the sharing of syringes and needles for drug injection, as well as through unprotected sex [9,10,16, 20].

Studies in the EECA region indicated high levels of HIV-related stigma and discrimination. Thus, at least 40% of respondents in different countries of the region indicated that children living with HIV shouldn't attend the same schools as other children, and at least 70% of respondents said that they wouldn't buy vegetables from an HIV-infected store owner [2]. At the same time, many people who have drug use disorders, even after attaining abstinence, have difficulties in finding employment and repairing relationships with family. A study conducted by WHO in 14 countries showed that drug addiction is characterized by the highest degree of stigmatization [12]. HIV-infected people with opioid dependence are subject to double stigmatization, which can lead to additional difficulties in all areas of patients' live and affect their quality of life and social adaptation [11].

Several studies have shown that OST helps to decrease an activity of injecting drug use. The duration of being in the OST program is a good predictor of psychosocial adaptation also [3,4].

Materials and methods. A voluntary anonymous questionnaire was used to collect epidemiological information from HIV-positive PWID. The population sample consisted of 211 respondents: 83 people were a members of the experimental group (OST program participants) and 128 people – in the control group (those who wasn't OST program participants) in Minsk, Belarus. The questionnaire included a list of general questions and questions related to HIV-infection and drug use [21].

The material of the epidemiological study were data from the HIV-positive PWID personal medical cards taking OST in Minsk in 2019 (N=91) also. When analyzing the data, descriptive-evaluative, analytical and statistical research methods were used. Databases compilation and its statistical processing was carried out using standard statistical software packages Microsoft Excel 10, STATISTICA 10 [7].

Confidence intervals for proportions were calculated by the Clopper-Pearson method [22]. To check the normal data distribution, the Shapiro-Wilk test was used. The critical level of significance was 0.05 (5%). Descriptive statistics are presented by median values of indicators with the calculation of 25%-75% quartiles (Me (Q25% -Q75%)). To assess the differences between independent samples, the Mann-Whitney U-test, X^2 test, and F-test (critical significance level was 0.05 (5%)) were applied [18,25].

Results. It was found that the proportion of men in the compared groups was 68.67% (CI95% 57.56-78.41) and 64.06% (CI95% 55.11-72.35). This indicator significantly exceeded the share of women in these

groups (31.33% (CI95% 21.59-42.44) and 35.94% (CI95% 27.65-44.89)).

In the age structure of the respondents in the compared groups, significant differences were revealed ($U=4080.00$, $p<0.01$; $Me=38$ (30-40) years in the experimental group, $Me=35$ (31-40) years in the control group). The share of 36-40-year-old respondents taking OST was 48.19% (CI95% 37.08-59.44), and in the control group it didn't exceed 30.00% (27.34% (CI95% 19.84-35.92)). In general, the age structure of the respondents corresponded to that among PWID in Minsk.

More than half (51.81% (CI95% 40.56-62.92)) of respondents in the experimental group and 42.19% (CI95% 33.51-51.23) of the control group respondents had secondary education. There were no significant differences in the compared groups for this indicator ($p>0.05$). Secondary specialized education had 32.53% (CI95% 22.65-43.70) of respondents from the experimental group and 37.50% (CI95% 29.10-46.49) – from the control group. The proportion of people with basic and higher education in the compared groups was 8.43% (CI95% 3.46-16.61) and 7.23% (CI95% 2.70-15.07) in the experimental group, 14.06% (CI95% 8.55-21.31) and 6.25% (CI95% 2.74-11.94) in the control group, respectively. These indicators didn't significantly differ in the studied groups ($p>0.05$).

The share of single respondents in the experimental and control groups was 69.88% (CI95% 58.82-79.47) and 64.84% (CI95% 55.91-73.07), respectively. These indicators significantly exceed the proportion of single drug users registered in Minsk in 2019 (53.39% (CI95% 52.05-54.73)). 54.22% (CI95% 42.92-65.21) of the respondents in the experimental group and 45.31% (CI95% 36.50-54.35) of the control group had children. 48.19% (CI95% 37.08-59.44) of the respondents in the experimental group had stable income and 39.84% (CI95% 31.30-48.87) – in the control group. 12.05% (CI95% 5.93-21.04) in the experimental group had occasional earnings and 15.63% (CI95% 9.81-23.09) of the respondents from the control group; not employed were 39.76% (CI95% 29.17-51.10) of the respondents from the experimental group and 44.53% (CI95% 35.75-53.57) – from the control one.

The attitude to criminal in the analyzed groups was as follows: 67.47% (CI95% 56.30-77.35) of the respondents in the experimental group and 53.91% (CI95% 44.88-62.75) – in the control group had 3 or more convictions. 24.10% (CI95% 15.38-34.73) HIV-positive participant in the OST program was judged 1-2 times. The same indicator in the control group was 31.25% (CI95% 23.35-40.04) There were no statistically significant differences in these characteristics in compared groups ($p>0.05$).

There were no significant differences in the level of awareness of the OST program in the estimated groups ($p>0.05$). From the other hand, incomplete awareness (93.75% (CI95% 88.06-97.26)) of HIV-infected PWID in Minsk about the OST program indicates the need for their additional informing in the healthcare institutions.

The respondents were asked to indicate the duration of drug use experience (table 1). The shares of respondents with 6-10 years and 11-15 years of drug use experience didn't significantly differ in the compared groups ($p>0.05$). The proportion of respondents with up to 5 years of drug use experience is significantly lower in the group of people taking OST ($p<0.05$). The share of respondents in the experimental group with more than 16 years of drug use

experience was significantly higher than the share of less experienced respondents in this group and the proportion of respondents from the control group with drug use during 16 years or more ($p < 0.05$). When comparing the experience of drug use among the respondents of the experimental and control groups, significant differences were revealed ($X^2=24.43$, $p<0.01$).

Table 1

Duration of opioid addiction among respondents in Minsk

Duration of opioid addiction	Experimental group			Control group		
	%	CI95%		%	CI95%	
		min	max		min	max
Up to 5 years	1,20	0,03	6,53	16,41	10,45	23,98
6-10 years	15,66	8,61	25,29	29,69	21,94	38,4
11-15 years	26,51	17,42	37,34	24,22	17,09	32,58
over 16 years	56,63	45,29	67,47	29,69	21,94	38,4
Total	100,00	-	-	100,00	-	-

The revealed patterns indicate that HIV-positive drug users with a long history of drug use more frequent enter into the OST program in Minsk.

The analysis of the age at which the respondents first became interested in drugs showed that, the largest proportion among the interviewed HIV-infected PWID who take OST were those whose interest in drugs arose at the age of 16-18 and 19-25. The values of these indicators reached 49.40% (CI95% 38.24-60.60) and 33.73% (CI95% 23.72-44.95) among HIV-infected OST program participants and were not reliably differ from similar indicators in the control group (35.16% (CI95% 26.93-44.09) and 38.28% (CI95% 29.83-47.28) respectively). There were no significant differences between the respondents of the compared groups among those who started using drugs before the age of 15: 13.25% (CI95% 6.81-22.48) in the experimental group, 15,36% (CI95% 9.81-23.09) in the control group. There is a similar situation with respondents whose interest in drugs arose at the age of 26 and older: 3.61% (CI95% 0.75-10.20) in the experimental group, 10.94% (CI95% 6.11-17.67) in the control group. In general, there were no significant

differences in the compared groups for this indicator ($p>0.05$).

The injection route as the most likely route of HIV transmission was indicated by 81.93% (CI95% 71.95-89.52) of the respondents in the experimental group and 79.69% (CI95% 71.67-86.28) respondents from the control group. Among other routes of possible HIV infection, heterosexual one was indicated. The proportion of this route was 16.87% (CI95% 9.54-26.68) in the experimental group and 17.19% (CI95% 11.10-24,86) – in the control group. The option “other” was noted in 1.20% (CI95% 0.03-6.53) of the respondents in the experimental group and 3.13% (CI95% 0.86-7.81) – in the control one. There were no significant differences in the answers of compared groups ($p>0.05$).

Timely admission of HIV-positive patients to dispensary observation, including drug users, is a prerequisite for maintaining an active life. When analyzing the respondents' observation duration by an infectious disease doctor, significant differences were found in compared groups ($p<0.05$) (table 2).

Table 2

Duration of respondents' follow-up in HIV dispensaries in Minsk

Duration of respondents' follow-up in HIV dispensaries	Experimental group, %	Control group, %
not observed	2,41	3,91
up to 1 year	0,00	17,18
1-5 years	32,53	60,16
6-10 years	22,89	10,94
11-15 years	22,89	3,13
over 16 years	19,28	4,68
Total	100,00	100,00

Among persons have a dispensary observation by an infectious disease doctor for less than 1 year ($p<0.05$), within 1-5 years ($X^2=14.28$, $p < 0.00$), 6-10 years ($X^2=5.45$, $p<0.05$), 11-15 years old ($X^2=20.26$, $p<0.01$) and over 16 years ($X^2=11.48$, $p<0.01$) significant differences were revealed. Both among HIV-infected PWID taking OST and among respondents from the control group, the proportion of people undergoing dispensary observation by an infectious dis-

ease doctor for 1-5 years was maximum and amounted to 32.53% (CI95% 22.65-43.70) and 60.16% (CI95% 51.13-68.70), respectively. There were no significant differences in the number of people not being monitored by infectious disease doctor in the study groups ($p>0.05$).

Thus, the overwhelming majority of respondents in the compared groups (97.59% (CI95% 91.57-99.71) and 96.09% (CI95% 91.12-98.72), respectively) noted

that they were observed by an infectious disease doctor. The obtained results coincide with the literature data: participation in drug addiction treatment programs, incl. OST, facilitated earlier access to medical care by PWID diagnosed with HIV infection [8].

Depending on the length of life with HIV the respondents from the experimental group have significant differences with members from the control group ($U=3196.50$, $p<0.05$). The median indicator was 6 (4-12) years of life with HIV in the experimental group and 4 (3-6) years in the control group.

Every third (33.73% (CI95% 23.72-44.95)) respondent in the experimental group and more than half (57.03% (CI95% 47.99-65.74)) of the control group participants have been infected with HIV for 1-4 years, and 30.12% (CI95% 20.53-41.18) of the respondents from the OST program members and 26.56% (CI95% 19.15-35.09) HIV-positive PWID from the control group were infected 5-9 years ago. The proportion of PWID living with HIV for more than 15 years was significantly higher among respondents from the experimental group (20,48% (CI95% 12.41-30.76)) compared with control group members (5.47% (CI95% 2.23-10.94)).

Poor ART tolerance was reported by 42.17% (CI95% 31.40-53.51) of respondents in the experimental group, while in the control group this indicator didn't exceed 16.41% (CI95% 10,45-23.98). Significant differences were also revealed in terms of ART tolerance in the compared groups ($X^2=17.14$, $p<0.01$). Comorbid pathology therapy reception, insufficient or excessive daily methadone dose during HIV therapy may affect the ART tolerance [5,6,13,17,26]. According to the medical records of HIV-infected PWID who take OST in 2019, 89.01% of them were prescribed ART regimens that reduce the serum methadone concentration by 15-53% [6]. Refusal to take ART was observed in 3.30% (CI95% 0.69-9.33) of HIV-infected PWID receiving OST. The only reason given by respondents to refuse HIV therapy is the fear of ART side effects.

Analysis of the respondents' participation duration in the OST program in experimental group showed that 37.35% (CI95% 26.97-48.66) of the respondents took OST for 1-3 years and 30.12% (CI95% 20.53-41.18) – during 4-8 years. It indicates a high motivation to participate in the OST program and, as a result, contribute to high rates of patient retention in the program.

OST program effectiveness in Minsk was characterized by answering questions designed only for respondents in the experimental group. The problems of employment, family relations and the quality of life in general were touched upon. 62.65% (CI95% 51.34-73.03) of the respondents were unable to start new relations and create a family during their participation in the OST program. At the same time, 37.35% (CI95% 26.97-48.66) of the respondents managed to change their marital status thanks to their participation in the OST program.

More than half (54.22% (CI95% 42.92-65.21) of HIV-infected respondents found a job during their participation in the OST program. This indicator

doesn't significantly differ from the share of persons who didn't find a job during their participating in the OST program ($p>0.05$). For comparison, the share of employed persons who use drugs over the 10 years fluctuated within the range of 20.09% (CI95% 19.16-21.05) in 2011 to 48.65% (CI95% 47.31-49.99) in 2019 in Minsk. Given the presence of multiple convictions, a high level of stigmatization of HIV-positive persons who use drugs, the employment rate of OST program participants reflects a pronounced social effect, which is confirmed by literature data [14].

Improved relationships with friends and family and an increase in the quality of life in general were noted by 96.39% (CI95% 89.80-99.25) of OST program participants, which is significantly higher than the proportion of people who answered negatively to these questions (3.61% (CI95% 0.75-10.20)). The obtained indicators coincide with the opinion of a number of authors [15,24]. Improving the quality of life for this category of patients is one of the main reasons for participating in the OST program according to the analysis of the medical cards data of HIV-infected PWID receiving OST in Minsk. Due to the strict conditions of admission to the OST program, the selection of the most motivated PWID takes place on the territory of the republic, which explains the high retention rate in the OST program [1,19,23].

Conclusions. It was found that there were no significant differences in the experimental and control groups in terms of the number of convictions, employment, as well as awareness of the availability of an OST program in Minsk, Belarus ($p>0.05$). The proportion of people with more than 16 years of drug use experience among the respondents from the experimental group is significantly higher than among those in the control group ($p<0.05$). Tolerance to ART among the respondents in the experimental group was significantly lower than in the control group ($p<0.05$).

The majority of respondents (97.59% (CI95% 91.57-99.71) in the experimental and 96.09% (CI95% 91.12-98.72) in the control group, respectively) were observed by an infectious disease doctor, however, there were significant differences in the duration of this follow-up ($p<0.05$). 37.35% (CI95% 26.97-48.66) of the respondents from the experimental group started a family and more than half (54.22% (CI95% 42.92-65,21) of HIV-infected respondents found a job during their participation in the OST program. An improvement in relationships with family and friends and an improvement in the quality of life in general was noted by 96.39% (CI95% 89.80-99.25) OST program participants.

REFERENCES:

1. BC Opioid Substitution Treatment System. Performance Measures 2014/2015-2015/2016 / Office of the Provincial Health Officer // British Columbia, 2017: Office of the Provincial Health Officer.
2. Communities in the spotlight. Responding to the Spread of HIV Infection in Eastern Europe and Central Asia. Global AIDS 2019 update / UNAIDS // Geneva, 2019: UNAIDS.

3. Cushman P. Detoxification after methadone maintenance treatment / P. Cushman // *Annals of the New York Academy of Sciences*. – 1981. – Vol. 362. – pp. 217-230.
4. Drug abuse treatment: A national study of effectiveness / R. L. Hubbard, M. E. Marsden, J. V. Rachal, et al. // NC, 1989: University of North Carolina Press.
5. Drug interactions between opioids and antiretroviral medications: interaction between methadone, LAAM, and delavirdine / E. F. McCance-Katz, P. M. Rainey, P. Smith, et al. // *The American Journal on Addictions*. – 2007. – Vol. 15(1). – pp. 23-34. doi: 10.1080/10550490500419029
6. EACS Guidelines. Version 10.0. / European AIDS Clinical Society // London, 2019: EACS.
7. Exploratory data analysis using R / R. K. Pearson // London, 2018: Chapman & Hall/CRC Data Mining and Knowledge Series.
8. Faster entry into HIV care among HIV-infected drug users who had been in drug-use treatment programs / L. I. Gardner, G. Marks, S. A. Strathdee, et al. // *Drug and Alcohol Dependence*. – 2016. – Vol. 165. – pp. 15-21. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2016.05.018
9. Gowing L. R. Mitigating the risk of HIV infection with opioid substitution treatment / L. R. Gowing, M. Hickman, L. Degenhardt // *Bulletin of the World Health Organization*. – 2013. – Vol. 91. – pp. 148-149. doi: 10.2471/BLT.12.109553
10. HIV, HBV and HCV in people who inject drugs and are placed on methadone maintenance therapy / N. S. Aye, M. M. Oo, A. D. Harries et al. // *Public Health Action*. – 2018. – Vol. 8(4). – pp. 202-210.
11. Integrated opioid substitution therapy and HIV care: a qualitative systematic review and synthesis of client and provider experiences / A. Guise, M. Seguin, G. Mburu, et al // *AIDS Care* – 2017. – Vol. 29(9). – pp. 1119-1128. doi:10.1080/09540121.2017.1300634.
12. International Narcotics Control Board / United Nations // Vienna, 2018: United Nations.
13. Long-term outcomes of protease inhibitor-based therapy in antiretroviral treatment-naïve HIV-infected injection drug users on methadone maintenance programmes / A. Moreno, M. J. Perez-Elias, J. L. Casado, et al. // *AIDS*. – 2001. – Vol. 15(8). – pp. 1068-1070. doi: 10.1097/00002030-200105250-00021
14. Methadone maintenance treatment programme reduces criminal activity and improves social well-being of drug users in China: a systematic review and meta-analysis / H. M. Sun, X. Y. Li, E. P. Chow, et al. // *BMJ Open*. – 2015. – Vol. 5, e005997. doi:10.1136/bmjopen-2014-005997
15. Methadone substitution therapy / WHO / Denmark, 2009: WHO.
16. New Zealand Practice Guidelines for Opioid Substitution Treatment / Ministry of Health // Wellington, 2014: Ministry of Health.
17. Pharmacokinetics of methadone in human immunodeficiency-virus-infected patients receiving nevirapine once daily / E. Arroyo, B. Valenzuela, J. Portilla, et al. // *Eur. J. Clin. Pharmacol.* – 2007. – Vol. 63. – pp. 669-675. doi: 10.1007/s00228-007-0299-z
18. Review of methadone treatment in Australia. The Department of Health of Australian Government. Available from: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-determinants/prisons-and-health/focus-areas/drugs/country-example-methadone-substitution-therapy-in-kyrgyzstan>.
19. Substitution maintenance therapy in the management of opioid dependence and HIV/AIDS prevention: position paper / WHO, United Nations Office on Drugs and Crime, Joint United Nations Programme on HIV/AIDS // Geneva, 2004: WHO.
20. The Impact of Methadone Maintenance Treatment on HIV Risk Behaviors among High-Risk Injection Drug Users: A Systematic Review / P. Karki, R. Shrestha, T. B. Huedo-Medina, et al. // *Evid. Based Med. Public Health*. – 2016. – Vol. 2. – pp. 1-11.
21. User's manual for the medical outcomes study (MOS) core: measures of health-related quality of life / R. D. Hays, C. D. Sherbourne, R. M. Mazel // Santa Monica, 1995: RAND.
22. Гржибовский, А. М. Доверительные интервалы для частот и долей / А. М. Гржибовский // *Экология человека*. – 2008. – №5. – С. 57-60.
23. Отчет об исследовании оценки необходимости услуг и качества заместительной метадонной терапии в Эстонии (UNODC 2008) / Институт развития здоровья. Эстонский центр мониторинга наркотических веществ // Таллин, 2008: Tervise Arengu Instituut, UNODC.
24. Пикиреня, В.И. Влияние заместительной терапии метадонном на отношения пациентов с близкими людьми / В.И.Пикиреня, Е.К.Артеменко, А.В.Абрамович // *Вопросы организации и информатизации здравоохранения*. – 2014. - №3. – С. 66-70.
25. Теория статистики: Учебник / Под ред. проф. Г.Л.Громыко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 476 с.
26. Шилейко, И.Д. Оптимизация заместительной метадонной терапии на основе лабораторного мониторинга / И.Д.Шилейко, О.М.Вергун // *Медицинские новости*. – 2013. – №10. – С. 58-60.

TECHNICAL SCIENCES

PROGRAMMING OF POINT BELONGING TO THE POLYGON SEARCH ALGORITHM BY THE CONDITION OF MUTUAL NON-INTERSECTION OF DETAILS

Gavrilov T.,

*Assistant, Department of Computer Engineering
Open International University of Human Development «Ukraine», Kyiv, Ukraine*

Tymoshenko A.

*Professor, Department of Computer Engineering
Open International University of Human Development «Ukraine», Kyiv, Ukraine*

Abstract

It is shown that the packing density of details in the cutting scheme has a direct proportional effect on the percentage of material utilization. Taking into account the technological requirements for the use of sheet material, algorithms have been developed for adding and removing details from the scheme. According to these algorithms, software modules were written and tested in an integrated object-oriented environment Delphi.

Keywords: ray tracing method, the method of Graham, cutting scheme, adding and deleting details of the circuit.

1 Introduction

At present day, the need for high-quality and comfortable footwear has become one of the main human physiological needs. And along with quality and comfort, the need for the quantity of this footwear has significantly increased. According to statistics and research, the world need for quantity of shoes recent years has grown to more than 13 billion pairs per year.

To meet this growing demand, the footwear industry of light industry should improve the methods of rationalizing nesting patterns. When designing rational nesting patterns, the cutter must adhere to the rule of tight placement of parts, while ensuring that they are mutually non-intersecting. To solve this problem, it is necessary to construct around the details the hodographs of vector-functions of the dense distribution of the figures of these parts.

2 The object of research and its technological audit

The object of research is shoe parts of various configurations that are manufactured at the enterprises of the footwear industry of light industry. The

study of various variants of cutting is conducted, the main feature of which is that around the details are built hodograph curves.

In fact, the hodograph is the trajectory of the movement of the pole of one figure around the other, preserving the conditions for their mutual contact [1–3]. Let's illustrate the fulfillment of this condition by the example of two polygons (Fig. 1).

For interactive extraction of the parts from a nesting pattern, it is necessary to solve the problem of belonging to a polygon point.

Let's suppose that there is an abstract polygon A given by arrays of coordinates of the points $d[i]$. $x, d[i].y$, where $i = 0..n-1$, where n is the number of points, and some point C with coordinates (x_0, y_0) (Fig. 2). It is necessary to prove that the point belongs to the figure.

In Fig. 1, 2, a convex-concave polygon is represented, however, the essential drawback of the hodograph curves is precisely that they are correctly constructed only for convex-concave figures.

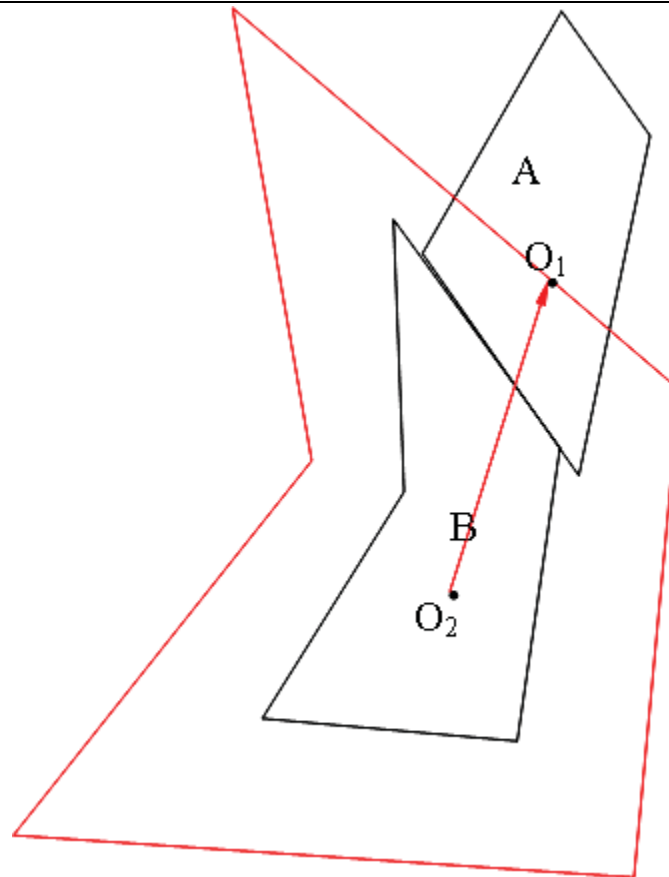


Fig. 1. Construction of a hodograph around the figure:
A, B – figures; O_1, O_2 – poles of figures

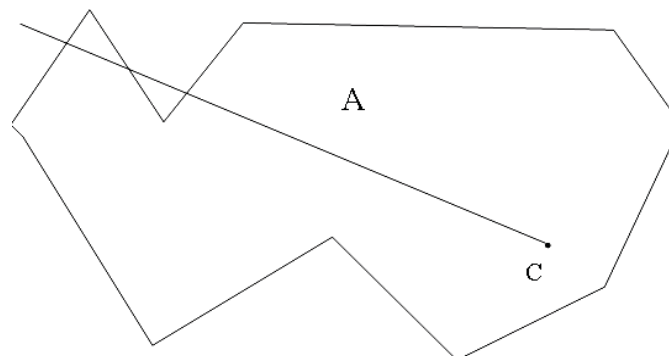


Fig. 2. The problem of point belonging to a polygon:
A – polygon; C – point

3. The aim and objectives of the research

The aim of research is development of software module for extracting parts from the nesting pattern, which are manufactured at the enterprises of the shoe industry of light industry. This software module, after development, will become part of the developed software.

To achieve this aim, it is necessary to perform the following tasks:

- 1 To analyze algorithms for finding the point belonging to the polygon.
- 2 To develop an algorithm for extracting details.
4. The research of existing solutions of the problem

The problem of localizing a point has many subspecies and they are solved by different methods.

Among the existing solutions of the problem, it should be noted:

- ray tracing method [4, 5];
- summing angles method [6, 7];
- Graham circumventing method [8, 9].

In particular, the paper [4] is completely devoted to the problem of the ray tracing method, its advantages and disadvantages, analysis of its complexity and execution time.

As the author notes in [6], despite the complexity of the method of summing angles, its simplified form gives good prospects for its wide application.

The author of [10] states that when constructing a convex simple polygon, the execution time of algorithms can be reduced to $O(cn)$, where c is a constant.

However, this article explores the design of nesting patterns, which means that the focus of the problem is somewhat different.

In the opinion of the authors [1–3], for construction of rational nesting patterns, a dense placement of the details is necessary, that is, a hodograph must be created. At the same time, the authors of [1] note that an essential disadvantage of hodographs is that they are constructed only for the same type of figures.

Methods of research

To solve the problem, there are many algorithms. Let's analyze the main:

The essence of the algorithm for finding point belonging to the polygon using the Graham circumventing method [4] is quite simple. A vector \vec{a} is drawn from first vertex to second, and a vector \vec{b} is drawn from first vertex to the third. The direction of traversal from vector \vec{a} to vector \vec{b} will show whether to remove the vertex or not. If the direction of traversal from vector \vec{a} to vector \vec{b} is clockwise, then the point belongs to the polygon, and if the direction of traversal from vector \vec{a} to vector \vec{b} is counter-clockwise, then the point does not belong to the polygon. However, this method does not provide a situation where the point lies coun-

ter-clockwise from the vector \vec{a} , but is within the polygon.

The essence of the method of angles lies in the search for the sign of the sum of the angles [7]. From the point, the belonging of which must be proved, rays are taken to other vertices of the polygon. Angles between the rays are attached. The sign of this sum determines the point belonging to the polygon. The disadvantages of the algorithm are the complexity of calculating the angles and the uncertain position of the reference point.

Ray tracing algorithm method looks for the point belonging to the polygon by the number of intersections with the ray of the sides of the polygon [6]. From some remote point to the point, belonging of which must be proved, a ray is drawn, and the number of its connections of polygon boundaries determines the point belonging to the polygon. In Fig. 3 shows three advantages of the ray method. Firstly, any ray that passes through a given point is suitable for solving the problem. Secondly, the order of intersection of the sides of a polygon is not important, only the pairing of their total amount is important. And, thirdly, most importantly, it will be much easier to implement it programmatically.

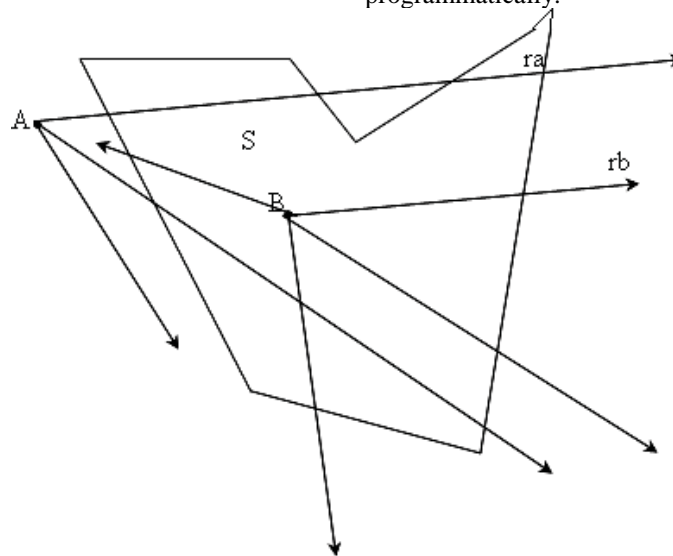


Fig. 3. Features of the ray method: S – figure; A, B – points; ra, rb – rays

5.1. ray construction. It is necessary to find the number of intersections of the ray with the edges of the polygon. Physically, in order to construct a ray (in fact, a ray is a straight line segment), it is necessary

$$\frac{x-x_0}{xp-x_0} = \frac{y-y_0}{yp-y_0} \Rightarrow (yp - y_0)x + (x_0 - xp)y + y_0xp - ypx_0 \tag{1}$$

where x_0, y_0 – coordinates of search point;

x_p, y_p – coordinates of detail center.

Let's write general equation of this ray (2):

$$A_1x + B_1y + C_1 = 0 \tag{2}$$

$$\text{where } A_1 = (yp - y_0), B_1 = (x_0 - xp), C_1 = y_0xp - ypx_0 \tag{3}$$

And the equation of the polygon edge is in the form (4):

$$\frac{x-d[i].x}{d[i+1].x-d[i].x} = \frac{y-d[i].y}{d[i+1].y-d[i].y} \Rightarrow (d[i+1].y - d[i].y)x + (d[i].x - d[i+1].x)y + d[i].yd[i+1].x - d[i+1].yd[i].x \tag{4}$$

Let's write general equation of the polygon edge (5):

$$A_2x + B_2y + C_2 = 0 \tag{5}$$

$$\text{where } A_2 = (d[i+1].y - d[i].y), B_2 = (d[i].x - d[i+1].x), C_2 = d[i].yd[i+1].x - d[i+1].yd[i].x \tag{6}$$

two points. The first point is the search point. The second point is selected within the detail, and for simplicity, the center of the detail. Then the ray equation can be written in the form (1):

Thus, the coordinates of the intersection point D will be the solution of the system of equations (2) and (5):

$$x = \frac{B_1 C_2 - C_1 B_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2}, y = \frac{C_1 A_2 - A_1 C_2}{A_1 B_2 - B_1 A_2} \quad (7)$$

So, if the coordinates of the point D satisfy equation (7), the intersection is, but it is unknown whether the point belongs to the polygon or not. To do this, let's find a point D for each edge of the polygon, and, in each time, increments the number of intersections. By the total number of intersections, it is possible to see whether the point belongs to the polygon or not. If the number of intersections is odd, then, as can be seen from Fig. 2, the point C belongs to the polygon, otherwise, it does not.

Mutual non-intersecting of details is possible only when it is provided the non-crossing of circles described around them, that is:

$$R_1 + R_2 \geq D, \quad (8)$$

where R1, R2 – the radius of the circles described around the selected detail,

D – the distance between their real poles.

Let's illustrate the fulfillment of this condition (Fig. 4).

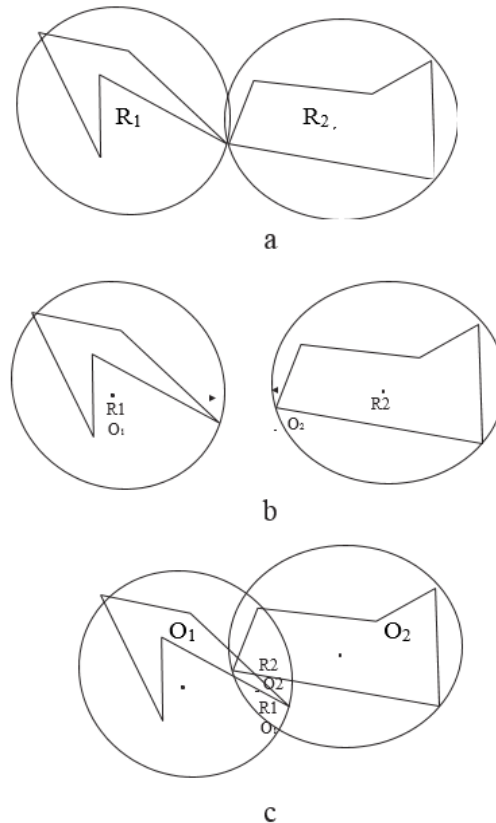


Fig. 4. The fulfillment of the non-intersection condition: a – dense placement; b – simple non-intersection; c – cross section

An ideal variant is shown in Fig. 4, a, when the details only touch. The variant when the parts are placed too far is shown in Fig. 4, b. However, condition (8) is satisfied and, therefore, this arrangement of details satisfies the non-intersection condition. The variant when the parts are placed too close and intersect is shown in Fig 4, c.

5.2. Procedure algorithm. As already noted, the standard algorithm for the ray tracing method is modified according to the conditions of this problem. Let's emphasize that the edge in this algorithm acts as a straight line, and the points on the ray will be on one or the other side of the edge. Thus, to solve the problem of detail exclusion, let's apply formulas:

$$D_1 = A_1 x_{di} + B_1 y_{di} + C_1, \quad (9)$$

$$D_2 = A_1 x_{di+1} + B_1 y_{di+1} + C_1, \quad (10)$$

$$D_3 = A_2 x_p + B_2 y_p + C_2, \quad (11)$$

$$D_4 = A_2 x_{ex} + B_2 y_{ex} + C_2, \quad (12)$$

where $x_{di}, y_{di}, x_{di+1}, y_{di+1}$ – coordinates of the points of the beginning and the end of the edge; $x_p,$

y_p – detail center coordinates; x_{ex}, y_{ex} – coordinates of the exclusion point.

So, the algorithm looks like this:

1. set up zero to the contents of the cross section counter;
2. draw a straight line $A_1 x + B_1 y + C_1$ between exclusion point and detail center (2);
3. draw a straight line $A_2 x + B_2 y + C_2$ that is equation of the edge of the polygon (5);
4. calculate the value of D1, D2, D3, D4 according to formulas (9)–(12);
5. if the result $D_1 * D_2 < 0$ and $D_3 * D_4 < 0$, then the intersection is and add to the contents of the cross section counter and go to step 2, otherwise – skip the step;
6. repeat the steps from the second to the fifth for each edge of the polygon;
7. analyze the contents of the cross section counter and exclude or not exclude this detail.

5.3. Procedure listing. This procedure describes the steps from the second to the fifth of above described algorithm.

```
{=====}
function
perety(x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4:integer): boolean;
var A1,B1,C1,A2,B2,C2,D1,D2,D3,D4:integer;
begin
perety:=false;
A1:=y2-y1; B1:=x1-x2; C1:=x2*y1-x1*y2;
A2:=y4-y3; B2:=x3-x4; C2:=x4*y3-x3*y4;
if (A1*B2-A2*B1<>0) then begin
D1:=A1*x3+B1*y3+C1;
D2:=A1*x4+B1*y4+C1;
D3:=A2*x1+B2*y1+C2;
D4:=A2*x2+B2*y2+C2;
if (D1*D2<0) and (D3*D4<0) then
perety:=true;
end;
end;
{=====}
```

This is just a software module, where, if perety = true, the main program will exclude detail.

6. Research results

The procedure for the exclusion of details is part of the developed program for the interactive formation of cutout schemes. This software is implemented in the EMBARCADERO Delphi RIO environment. This program provides interactive addition and exclusion of detail not only in the original position and turned to 180°, but also at a free angle.

REFERENCES:

1. Haines, E. Point in Polygon Strategies [Text] / E. Haines // Graphics Gems. – Elsevier, 1994. – P. 24–46. doi:10.1016/b978-0-12-336156-1.50013-6

2. Weiler, K. An Incremental Angle Point in Polygon Test [Text] / K. Weiler // Graphics Gems. – Elsevier, 1994. – P. 16–23. doi:10.1016/b978-0-12-336156-1.50012-4

3. Foley, J. D. Computer Graphics: Principles and Practice [Text] / J. D. Foley, S. K. Feiner, J. F. Hughes, A. Van Dam. – Ed. 2. – Addison-Wesley, 1990. – 1200 p.

4. Har-Peled, S. Approximating the Maximum Overlap of Polygons under Translation [Text] / S. Har-Peled, S. Roy // Algorithmica. – 2016. – Vol. 78, № 1. – P. 147–165. doi:10.1007/s00453-016-0152-9

5. Landier, S. Boolean operations on arbitrary polygonal and polyhedral meshes [Text] / S. Landier // Computer-Aided Design. – 2017. – Vol. 85. – P. 138–153. doi:10.1016/j.cad.2016.07.013

6. Wang, Z.-J. Re2l: An efficient output-sensitive algorithm for computing Boolean operations on circular-arc polygons and its applications [Text] / Z.-J. Wang, X. Lin, M.-E. Fang, B. Yao, Y. Peng, H. Guan, M. Guo // Computer-Aided Design. – 2017. – Vol. 83. – P. 1–14. doi:10.1016/j.cad.2016.07.004

7. Chen, D. Z. Computing the Visibility Polygon of an Island in a Polygonal Domain [Text] / D. Z. Chen, H. Wang // Algorithmica. – 2015. – Vol. 77, № 1. – P. 40–64. doi:10.1007/s00453-015-0058-y

8. Chertenko, L. P. Matematychni zadannia konturiv vnutrishnoi formy vzuttia [Text] / L. P. Chertenko, V. P. Konoval // Visnyk KNUTD. – 2002. – № 1. – P. 15–19.

9. Zalgaller, V. A. Ob odnom neobhodimom priznake plotneishogo raspolozheniia figur [Text] / V. A. Zalgaller // UMN. – 1953. – Vol. 8, № 4 (56). – P. 153–162.

10. Gavrilo, T. M. Tekhnolohiia pidrakhunku kompleksnoho pokaznyka yakosti materialiv dlia vzuttia za dopomohoiu ekspertykh otsinok [Text] / T. M. Gavrilo // Lehka promyslovist. – 2011. – № 1. – P. 27–29.

SEA WATER DESALINATION TECHNOLOGY BASED ON HYBRIDIZATION OF THERMAL AND MEMBRANE DISTILLATION METHODS**Agamaliyev M.,***Azerbaijan State Oil and Industry University,
doctor of technical sciences, professor, department "Energy production technologies"***Ahmadova J.,***Azerbaijan State Oil and Industry University,
candidate of technical sciences, associate professor, department "Energy production technologies"***Farzaliyev R.***Azerbaijan State Oil and Industry University, master, department "Energy production technologies"***ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕСНЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ГИБРИДИЗАЦИИ ТЕРМИЧЕСКОГО И МЕМБРАННОГО МЕТОДОВ ДИСТИЛЛЯЦИИ****Агамалиев М.М.,***Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, д.т.н.,
профессор кафедры «Технологии производства энергии»***Ахмедова Д.А.,***Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, к.т.н., доцент кафедры «Технологии производства энергии»***Фарзалиев Р.Ф.***Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
магистр кафедры «Технологии производства энергии»***Abstract**

The article discusses the technological aspects of hybridization of a one-stage thermal distillation method with mechanical compression of secondary vapor and membrane distillation using the heat of blowdown water from the thermal distillation stage. The studies are of a computational and analytical nature and are carried out on the example of the water of the Caspian Sea. To prevent the formation of calcium sulfate scale, it is proposed to use the method of nanofiltration softening, which makes it possible to increase the boiling point and the value of the distillate conversion. It is shown that high-temperature distillation contributes to a significant decrease in heat consumption and a decrease in the required heating surface. At the stage of membrane distillation, it is proposed to use a TF-450 membrane. It was found that, under the conditions under consideration, the production of an additional amount of distillate by membrane distillation is from 2,5% to 10,5% of the amount of distillate obtained at the thermal distillation stage.

Аннотация

В статье обсуждаются технологические аспекты гибридации одноступенчатого термического метода дистилляции с механической компрессией вторичного пара и мембранной дистилляцией с использованием тепла продувочной воды стадии термической дистилляции. Исследования носят расчетно-аналитический характер и выполнены на примере воды Каспийского моря. Для предотвращения образования накипи сульфата кальция предложено использовать метод нанофильтрационного умягчения, что позволяет повысить температуру кипения и величину конверсии дистиллята. Показано, что высокотемпературная дистилляция способствует существенному снижению расхода тепла и уменьшению требуемой поверхности нагрева. На стадии мембранной дистилляции предложено использование мембраны TF-450. Установлено, что в рассматриваемых условиях выработка дополнительного количества дистиллята путем мембранной дистилляции составляет от 2,5% до 10,5% от количества дистиллята, получаемого на стадии термической дистилляции.

Keywords: thermal distillation, mechanical vapor compression, membrane distillation, hybridization, mathematical model, computer simulation.

Ключевые слова: термическая дистилляция, механическая компрессия пара, мембранная дистилляция, гибридация, математическая модель, компьютерная симуляция.

1. Введение.

Увеличение численности населения, развитие промышленности, сельского хозяйства и ограниченность естественных пресноводных источников делают актуальным опреснение морских вод, запасы которых практически не ограничены. Согласно [1] нехватка воды представляет угрозу для более чем 40% мирового населения. Эта проблема ха-

рактерна и для ряда регионов побережья Каспийского моря.

К настоящему времени наиболее широкое промышленное применение нашли две технологии опреснения: обратный осмос и различные модификации термического опреснения. Среди последних одним из наиболее многообещающих в плане энергетической эффективности является метод термической дистилляции с механической ком-

прессией пара – МКП (в англоязычной литературе MVC - Mechanical Vapor Compression) [2]. Сущность метода заключается в том, что вторичный пар, полученный при выпаривании морской воды, сжимается в механическом компрессоре с соответствующим повышением температуры и используется в качестве первичного (греющего) пара. В результате конденсации пар превращается в опресненную воду (дистиллят), а его тепло расходуется на опреснение новой порции морской воды. Предварительный нагрев питательной воды испарителя осуществляется путем рекуперации тепла дистиллята и продувочной воды. На одноступенчатых установках удельный расход тепловой энергии составляет 20-30 кВт·час/м³, что значительно ниже, чем на установках без компрессии пара. Технология МКП-опреснения имеет определенные преимущества перед технологией обратного осмоса: при сопоставимой стоимости обеспечивает более высокое качество опресненной воды и не требует регулярного обслуживания компанией-производителем мембран.

Наряду с технологиями парокомпрессионного опреснения в последние годы заметно вырос интерес исследователей к такому методу опреснения как мембранная дистилляция МД (в англоязычной литературе MD – Membrane Distillation) [3]. Метод основан на получении чистой воды из морской посредством гидрофобной микропористой мембраны при давлении близком к атмосферному. По этому методу одна сторона мембраны контактирует с предварительно нагретой до температуры 40-90°C соленой водой, при которой из-за разницы парциальных давлений паров воды, обусловленной перепадом температур, молекулы водяного пара горячей воды переносятся через мембрану на ее холодную сторону. В зависимости от условий конденсации паровой фазы на холодной стороне различают несколько разновидностей МД: с прямой контактной конденсацией - в результате контакта с холодным потоком пермеата, омывающего мембрану; с конденсацией в воздушном или пермеатном зазоре, охлаждаемого специальным потоком холодной воды; с конденсацией в отдельном конденсаторе, куда отводится водяной пар путем создания вакуума на холодной стороне или отвод пара осуществляется посредством инертного газа. Основные достоинства МД – это проведение процесса при низких температурах с перспективой использования низкопотенциальных тепловых источников (бросовое тепло различных производств, солнечная и геотермальная энергия), возможность получения дистиллята с очень низким содержанием солей (5÷10 мкг/л), способность опреснения вод с высоким содержанием солей (до 100 г/л и более), модульность, изготовление модулей из пластмасс и другие. К недостаткам, ограничивающим коммерческое применение метода относятся: высокая стоимость мембран, их низкая удельная производительность, риск загрязнения мембран отложениями (хотя и в меньшей степени, чем при обратном осмосе), подверженность температурной и концентрационной поляризации, а в

случае использования традиционных источников энергии – очень высокие энергозатраты [4].

Выполнены исследования, посвященные различным аспектам технологий МКП и МД – опреснения в отдельности [5-8]. В частности, согласно [5] использование низкотемпературной многоступенчатой дистилляционной установки с МКП позволяет снизить энергозатраты до 17 кВт·час/м³. В работе [6] обоснована необходимость учета солевого содержания исходной воды. Показано, что при температуре кипения 70°C оптимальная концентрация выпариваемого раствора увеличивается с увеличением солевого содержания исходной воды и для воды Черного моря с солевым содержанием 18 г/л составляет 72 г/л. В работе [7] предлагается осуществлять питание модуля МД теплой продувочной водой системы охлаждения с градирнями и опресненную воду использовать для подпитки системы, что позволит на 29,4 % уменьшить расход исходной пресной воды. Предложен метод опреснения на модуле МД с использованием отработанного тепла из морского двигателя для бортовых судов и расчетами показано, что удельный расход энергии может быть снижен до 2,63 кВт/м³ для выработки 15 м³/сут пресной воды [8].

В последние 10-15 лет в опреснительной практике возник новый тренд, основанный на гибридизации двух и более методов опреснения, позволяющий нивелировать недостатки отдельных методов и максимально использовать их достоинства [9]. Примером такого подхода является оригинальная идея гибридизации МКП и МД методов опреснения, предложенная в работе [10]. Согласно этой идеи, для рекуперации тепла продувочной воды МКП-испарителя, вместо пластинчатого теплообменника, в котором осуществляется предварительный нагрев питательной воды, используется модуль МД с воздушным зазором. Это позволяет, наряду с нагревом питательной воды, получать дополнительное количество дистиллята из продувочной воды испарителя. На примере океанской воды авторы показывают, что такая гибридизация может привести к снижению стоимости опресненной воды примерно на 9% по сравнению с системой автономной МКП. При этом учитывается не только факт использования бросового тепла продувочной воды, но и более низкие капитальные затраты на модуль МД по сравнению с теплообменником.

В литературных источниках авторы обнаружили только одну работу, посвященную исследованию системы гибридного опреснения МКП-МД и считают важным продолжение исследований по этой тематике. Целью настоящей работы является исследование эффективности МКП-МД гибридной системы опреснения применительно к воде Каспийского моря, в первую очередь с учетом более высокого потенциала образования накипи сульфата кальция по сравнению с океанской водой, что обусловлено более высокой долей ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в ионном составе воды. Кроме того, в отличие от указанной работы, предусматривается в качестве модуля МД изучить возможности исполь-

зования мембранного модуля с конденсацией пара в потоке пермеата, охлаждаемого, частью питательной воды испарителя.

2. Технологическая схема гибридной системы опреснения и методика проведения исследований

Как было показано выше, вода Каспийского моря характеризуется более высоким потенциалом сульфатного накипеобразования, чем океанская и черноморская. Во всех случаях, образование карбонатной накипи легко решается методом подкисления. Что же касается более проблемной накипи сульфата кальция, то наибольший интерес представляют следующие варианты: использование антинакипинов; ионообменное умягчение с регенерацией катионита остаточным концентратом [11] и нанофильтрационное умягчение-десульфатизация (НФ) с частичным снижением соледержания [12]. Каждый из этих вариантов имеет свои достоинства и недостатки. Использование антинакипинов – наиболее простой метод. Однако, как показывает практика, метод эффективен при температурах кипения $<100^{\circ}\text{C}$ и низких величинах конверсии (отношение количества опресненной воды к расходу питательной воды) – $<50\%$, что соответствует высоким долям остаточных растворов. Нанофильтрация надежно решает проблему сульфатного накипеобразования и позволяет заметно увеличить конверсию непосредственно стадии термической дистилляции. Однако сам процесс нанофильтрации характеризуется сбросом концентрата с высокой долей: $20\div 30\%$. В противном случае, из-за явления концентрационной поляризации, резко повышается расход электроэнергии и на нанофильтрационных мембранах образуются отложения сульфата кальция. Ионообменное умягчение также надежно решает проблему накипи, но характеризуется громоздкостью оборудования. Доля сброшенного раствора составляет $15\div 20\%$ от исходного.

В настоящих исследованиях были рассмотрены два альтернативных варианта решения сульфатной проблемы: введение антинакипина и нанофильтрационная обработка. В обоих случаях для предотвращения карбонатной накипи предусматривалось подкисление питательной воды. Предлагаемая система гибридного опреснения с нанофильтрационной предварительной очисткой приведена на рис.1.

Согласно приведенной схеме осветленная морская вода (ОМВ), после подкисления, подвергается обработке в модуле нанофильтрации (НФ), где делится на два потока – пермеат (1) и концентрат (2). Пермеат делится на два потока, один из которых пропускается через теплообменник (ТО), где нагревается за счет тепла дистиллята (7) греющего пара (6), а другой - через камеру охлаждения пермеата модуля МД, с нагревом за счет тепла подводимого из горячей камеры. Охлажденный дистиллят МКП-модуля отводится по линии - Д₁. В качестве питательной воды модуля МД используется продувочная вода (8) испарителя с температурой $60\div 90^{\circ}\text{C}$. Она пропускается через горячую камеру модуля МД, из холодной камеры которой по линии Д₂ отводится полученный дистиллят. Остаточный концентрат стадии МД отводится по линии ОК. При высоких значениях температуры кипения продувочная вода испарителя смешивается с частью умягченной морской воды с доведением температуры до допустимых 90°C (пунктирная линия). Питательная вода (нагретый пермеат НФ) поступает в оросительную систему горизонтально-пленочного испарителя (ГПИ) и стекает по поверхности труб (3), частично испаряясь за счет тепла, который выделяется при конденсации греющего пара внутри труб. Вторичный пар (5) испарителя, предварительно очищенный от капель воды в сепараторе (4), поступает в компрессор (К), где сжимается за счет использования электрической энергии до перегретого состояния и используется в качестве греющего пара

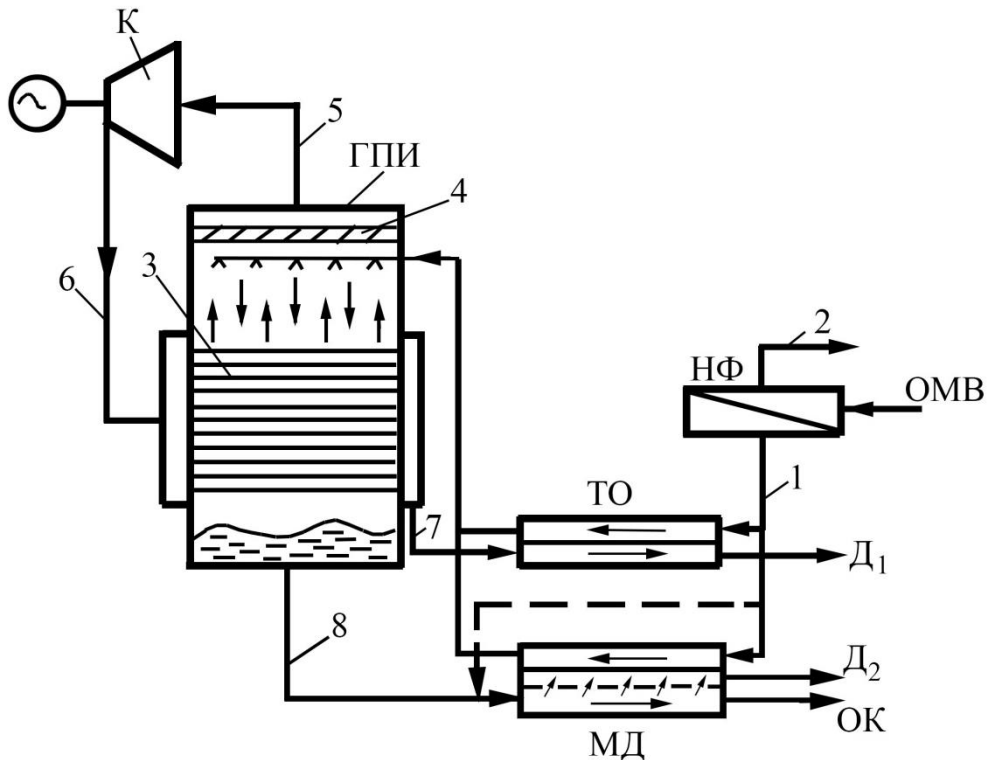


Рис. 1. Технологическая схема гибридной системы опреснения морской воды

МВ – морская вода; НФ – модуль наночистоты; ОСВ – осветленная морская вода; ТО – теплообменник; МД – модуль мембранной дистилляции; ГПИ – горизонтально-пленочный испаритель; К – компрессор; Д₁, Д₂ – дистилляты термической и мембранной стадии дистилляции, соответственно; ОК – остаточный концентрат; 1 – питательная вода испарителя; 2 – концентрат НФ, 3 – трубы греющей секции; 4 – сепарационное устройство; 5 – вторичный пар испарителя; 6 – греющий (сжатый) пар; 7 – дистиллят греющего пара; 8 – продувочная вода испарителя.

Исследования были проведены аналитическим методом в несколько этапов. На первом этапе была выбрана математическая модель предложенной системы, состоящей из трех частей: модели наночистоты морской воды, модели испарителя с пароконпрессивным испарителем совместно с теплообменником, а также модели модуля МД. Для моделирования процесса наночистоты были использованы методика, приведенная в [13], предусматривающая некоторые упрощающие допущения и позволяющая прогнозировать расход НФ-пермеата, а также остаточные концентрации ионов в нем, в зависимости от условий обработки. При исследовании процесса пароконпрессивного опреснения в качестве базы была использована модель, предложенная в [14]. Она основана на уравнениях материальных и тепловых балансов каждого из узлов системы, уравнении теплопередачи, температурной депрессии и ряде других выражений. В данном исследовании эта модель была использована для расчета расходов и температур всех потоков, удельного расхода электроэнергии и теплообменных поверхностей. Для исследования процесса МД была использована модель основанная на критериальном уравнении Ньюсельда и соответствующая методика, предложенная в [15], позволяющая рассчитывать расход полученного дистиллята – Д₂, тепловую эффективность, требуемую поверхность мембран и ряд других показате-

телей. Две последние модели были дополнены также условиями ограничения на образование накипи CaSO₄ на теплообменной и мембранной поверхностях [16].

Непосредственное исследование системы было проведено путем компьютерной симуляции выбранной математической модели.

3. Математическая модель гибридной системы опреснения

Уравнения материального баланса по потокам и солям стадии наночистоты:

$$G_0 = G_{\pi} + G_{\kappa} \quad (1)$$

$$G_0 \cdot S_{i,0} = G_{\pi} \cdot S_{i,\pi} + G_{\kappa} \cdot S_{i,\kappa} \quad (2)$$

где G_0, G_{π}, G_{κ} – расходы исходной морской воды, пермеата (питательной воды испарителя) и концентрата, соответственно, кг/с; $S_{i,0}, S_{i,\pi}$ и $S_{i,\kappa}$ – концентрации ионов в соответствующих потоках, мг/дм³.

Уравнения, связывающие содержание отдельных ионов в пермеате и концентрате с содержанием ионов в исходной воде и коэффициентом конверсии пермеата – β :

$$S_{i,\pi} = S_{i,0} \cdot (1 - (1 - \beta)^{1-R_i}) / \beta \quad (3)$$

$$S_{i,\kappa} = S_{i,0} \cdot (1 - \beta)^{-R_i} \quad (4)$$

$$\beta = G_{\pi} / G_0 \quad (5)$$

где R_i – селективность мембраны.

Уравнения материального баланса по потокам и солями стадии термической дистилляции, а также коэффициента конверсии дистиллята (КД₁):

$$G_{\text{п}}=G_{\text{дл}}+G_{\text{к.и}} \quad (6)$$

$$G_{\text{п}} \cdot S_{\text{п}}=G_{\text{к.и}} \cdot S_{\text{к.и}} \quad (7)$$

$$K_{\text{д1}}=G_{\text{дл}}/G_{\text{п}} \quad (8)$$

где S_0 и $S_{\text{к.и}}$ – солесодержания питательной воды и остаточного концентрата испарителя, соответственно, мг/дм³; $G_{\text{дл}}$ и $G_{\text{к.и}}$ – расходы дистиллята и остаточного концентрата испарителя, соответственно, кг/с.

Совместное уравнение теплового баланса процесса нагрева питательной воды испарителя в ТО модуле МД:

$$G_{\text{п}} \cdot C_{\text{р}}(T_{\text{мв}}-T_{\text{нф}})=G_{\text{дл}} \cdot C_{\text{р}}(T_{\text{д}}-T_0) + G_{\text{к.и}}(T_{\text{к}} - T_0) \quad (9)$$

где $C_{\text{р}}$ – удельная теплоемкость воды, кДж/кг·°C; $T_{\text{мв}}$, $T_{\text{п}}$, $T_{\text{д}}$, T_0 – температуры морской воды, питательной воды испарителя, конденсации греющего пара испарителя, а также охлажденного дистиллята и остаточного раствора, соответственно, °C.

Уравнение теплового баланса испарителя – ГПИ:

$$G_{\text{п}} \cdot C_{\text{р}}(T_{\text{к}}-T_{\text{п}})+G_{\text{дл}} \cdot r_{\text{к}}=G_{\text{дл}} \cdot r_{\text{д}}+G_{\text{дл}} \cdot C_{\text{рп}}(T_{\text{пп}}-T_{\text{д}}) \quad (10)$$

где $T_{\text{к}}$, $T_{\text{пп}}$ – температуры кипения воды в испарителе, перегретого пара после компрессора, соответственно, °C; $r_{\text{к}}=f(T_{\text{к}})$ и $r_{\text{д}}=f(T_{\text{д}})$ – скрытые теплоты парообразования при соответствующих температурах, кДж/кг; $C_{\text{рп}}=f(T_{\text{пп}})$ удельная теплоемкость перегретого пара, кДж/кг·°C.

Удельный расход электроэнергии на сжатие пара в компрессоре, кВт·ч/м³:

$$W = \frac{\gamma/(\eta(\gamma-1)) \cdot P_{\text{вп}} \cdot V_{\text{вп}} \cdot \left(\left(\frac{P_{\text{пп}}}{P_{\text{вп}}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)}{3.6} \quad (11)$$

где $P_{\text{вп}}$ и $P_{\text{пп}}$ – давления вторичного и первичного (сжатого) пара, кПа; $V_{\text{вп}}$ – удельный объем вторичного пара, м³/кг; γ – показатель степени сжатия; η – к.п.д. компрессора.

Величины $P_{\text{вп}}$, $P_{\text{пп}}$ и $V_{\text{вп}}$ рассчитываются как функции от температур на основании уравнений регрессии, приведенных в [14]. При расчете $P_{\text{вп}}$ учитывается температурная депрессия – $\Delta T_{\text{деп}}$, определяемая как функция $S_{\text{р}}$ и $T_{\text{р}}$, °C:

$$T_{\text{вп}}=T_{\text{к}}-\Delta T_{\text{деп}} \quad (12)$$

Расчет поверхностей нагрева ТО и ГПИ выполняется на основании уравнения теплопередачи:

$$F_i = Q_i/K_i \cdot \Delta T_i \quad (13)$$

где Q_i – тепловые нагрузки, кВт; ΔT_i – температурные напоры, °C: для испарителя $\Delta T_{\text{ис}} = T_{\text{д}} - T_{\text{к}}$. Для теплообменника ΔT рассчитывается по известным формулам, как логарифмическая разность температур двух сред [14].

Для испарителей работающих в области температур 60÷140°C коэффициент теплопередачи может быть рассчитан по формуле, кВт/м²·°C, [10]:

$$K_{\text{гпи}} = 0.83 \cdot (3 + 0.05(T_{\text{к}} - 60)) \quad (14)$$

Для теплообменника соответствующий показатель может быть рассчитан по уравнению регрессии также приведенном в указанном источнике.

$$\text{Удельная поверхность теплообмена, м}^2/(\text{кг}/\text{с}) \\ \Delta F = (F_{\text{ис}} + F_{\text{то}})/G_{\text{д}} \quad (15)$$

Для оценки влияния температуры кипения ($T_{\text{к}}$) и солесодержания остаточного раствора ($S_{\text{к.и}}$) на процесс накипеобразования по сульфату каль-

ция предлагается использовать такой показатель, как степень насыщения по указанной соли – K_{CaSO_4} , % - [16]:

$$K_{\text{CaSO}_4} = AK_{\text{CaSO}_4} \cdot 100/PP_{\text{CaSO}_4} \quad (16)$$

где AK_{CaSO_4} – произведение активных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} , выраженных в моль/дм³; PP – произведение растворимости сульфата кальция, (моль/дм³)².

Величины AK_{CaSO_4} и PP_{CaSO_4} могут быть рассчитаны по выражениям, (моль/дм³)²:

$$AK_{\text{CaSO}_4} = \lambda_{\text{Ca}^{2+}} \cdot S_{\text{Ca}^{2+}} \cdot \lambda_{\text{SO}_4^{2-}} \cdot S_{\text{SO}_4^{2-}} \cdot f_{\text{п}}^2 \quad (17)$$

$$PP_{\text{CaSO}_4} = 215,13 \exp(-0,034 \cdot T_{\text{к}}) \cdot 10^{-7} \quad (18)$$

где $\lambda_{\text{Ca}^{2+}}$ и $\lambda_{\text{SO}_4^{2-}}$ – коэффициенты, учитывающие наличие ассоциатов в морской воде: $\lambda_{\text{Ca}^{2+}} = 0,84$; $\lambda_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,77$ [17]; $f_{\text{п}}$ – коэффициент активности двухвалентных ионов; $S_{\text{Ca}^{2+}}$ и $S_{\text{SO}_4^{2-}}$ – концентрации соответствующих ионов в концентрате испарителя, моль/дм³, связанные с коэффициентом конверсии – $K_{\text{д1}}$ выражением:

$$S_i = S_{i, \text{п}} / (1 - K_{\text{д1}}) \quad (19)$$

Удельный расход дистиллята стадии МД может быть рассчитан по формуле, кг/(м²·с):

$$J = C_{\text{м}}(P_1(t_{\text{м1}})^* - P_2(t_{\text{м2}}) - \Delta P_1) \quad (20)$$

где $C_{\text{м}}$ – коэффициент проницаемости мембраны, кг/(м²·с·Па); $P_1(t_1)^*$ – давление водяного пара над чистой водой при температуре горячей поверхности мембраны – $t_{\text{м1}}$, Па; $P_2(t_{\text{м2}})$ – давление водяного пара при температуре холодной поверхности мембраны – $t_{\text{м2}}$, Па; ΔP_1 – поправка на депрессию пара и концентрационную поляризацию на горячей стороне, Па. Величина ΔP_1 зависит от режима течения, а также температуры горячей поверхности и может быть рассчитана по данным [15].

Величина $C_{\text{м}}$ может быть определена на основании экспериментальных данных, либо по аналитическим зависимостям, учитывающим технологические показатели используемой мембраны и механизма диффузии паров воды через мембрану. Исходя из соотношения длины свободного пробега молекул воды и диаметра пор мембраны большинство исследователей считают, что диффузия паров подчиняется смешанному кнудсено – молекулярному механизму и $C_{\text{м}}$ может быть рассчитан по формуле (21) из [19]:

$$C_{\text{м}}=(1/C_{\text{км}}+1/C_{\text{мм}})^{-1} \quad (21)$$

где $C_{\text{км}}$ и $C_{\text{мм}}$ – коэффициенты проницаемости по кнудсеновскому и молекулярно диффузионному механизмам:

$$C_{\text{км}}=2 \cdot \varepsilon \cdot \tau / (3 \cdot \delta \cdot \tau) \cdot (8 \cdot M_{\text{в}} / (\tau \cdot R \cdot T_{\text{м}}))^{0.5} \quad (22)$$

$$C_{\text{мм}}=\varepsilon \cdot PD_{\text{в}} \cdot M_{\text{в}} / (\tau \cdot \delta \cdot R \cdot T_{\text{м}} \cdot Pa) \quad (23)$$

где ε – пористость мембраны, в долях; τ – средний радиус пор, м; δ – толщина мембраны, м; τ – извилистость пор мембраны, в долях; $M_{\text{в}}$ – молярная масса воды, г/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(г·моль·К); $T_{\text{м}}$ – средняя температура мембраны, К; Pa – давление воздуха в порах, равное атмосферному давлению, Па; $PD_{\text{в}}$ – произведение общего давления в порах мембраны на коэффициент диффузии, Па· м²/с:

$$PD_B = 1,895 \cdot 10^{-5} T^{2,072} \quad (24)$$

Давление пара на линии насыщения при известной температуре может быть рассчитано по формуле Антуана, Па, [19]:

$$P = \exp(23,1964 - 3816,44/(T-46,13)) \quad (25)$$

где T – температура пара на горячей и холодной поверхностях мембраны в Кельвинах.

С учетом температурной поляризации температуры горячей и холодной поверхностях (T_{M1} , T_{M2}) могут быть рассчитаны по формулам, К [14]:

$$T_{M1} = \frac{\kappa_M (T_{я,п} + \frac{h_p}{h_k} T_{я,к}) + \delta \cdot (h_k T_{я,к} - \Delta H)}{(\kappa_M) + h_k \cdot (\delta + \frac{\kappa_M}{h_p})} \quad (26)$$

$$T_{M2} = \frac{\kappa_M (T_{я,к} + \frac{h_p}{h_k} T_{я,п}) + \delta \cdot (h_p T_{я,п} + \Delta H)}{(\kappa_M) + h_p \cdot (\delta + \frac{\kappa_M}{h_k})} \quad (27)$$

где κ_M – коэффициент теплопроводности мембраны, Вт/(м·С); $T_{я,п}$, $T_{я,к}$ – средние температуры в ядрах потоков пермеата (дистиллята) на холодной и концентрата на горячей сторонах модуля МД, К; h_p , h_k – коэффициенты теплопроводности пермеата и концентрата соответственно, Вт/(м²·С); $\Delta H(T_{M1})$ – скрытая теплота парообразования при средней температуре горячей стороны мембраны, кДж/кг.

Расчет κ_M , h_p , h_k , ΔH проводится по формулам:

$$\kappa_M = (1 - \varepsilon)\kappa_{MM} + \varepsilon \cdot \kappa_r \quad (28)$$

$$h_p = Nu_p \cdot \kappa_p / D_{ЭК} \quad (29)$$

$$h_k = Nu_k \cdot \kappa_k / D_{ЭК} \quad (30)$$

где κ_{MM} и κ_r – коэффициенты теплопроводности материала мембраны и газов (воздуха, паров воды) в порах мембраны; Nu_p , Nu_k – соответствующие числа Ньюсельда, зависящие от режима течения:

Для ламинарного режима:

$$Nu = 0,097 \cdot Re^{0,73} \cdot Pr^{0,13} \quad (31)$$

Для турбулентного режима:

$$Nu = 0,036 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad (32)$$

где Re и Pr – числа Рейнольдса и Прандтля, соответственно.

Коэффициенты теплопроводности пермеата и концентрата рассчитываются по единой формуле (33) в зависимости от средних температур соответствующих потоков, выраженных в °С, а скрытая теплота парообразования – по формуле (34):

$$\kappa_i = 9,0 \cdot 10^{-6} t_{cp}^2 + 2,1 \cdot 10^{-3} t_{cp} + 0,56 \quad (33)$$

$$\Delta H = 2448,7 - 2,412(T_{M1} - 273,15) \quad (34)$$

Согласно литературным данным в однопроходных модулях МД величина конверсии не может превышать 10 % от расхода питательной воды (в данном случае – от расхода концентрата испарителя). Поэтому коэффициент конверсии стадии МД-опреснения (KD_2) может быть принят в пределах 7÷9%. Тогда общий коэффициент конверсии (KD) определится по формуле:

$$KD = KD_1 + KD_2 - 0,01 KD_1 \cdot KD_2, \% \quad (35)$$

Основным показателем капитальных затрат МД-модуля является требуемая площадь мембраны (F_M , м²), а тепловой эффективности – коэффициент

температурной поляризации (КТП), а также тепловой КПД процесса ($\eta_{мд}$, %), которая соответствует части полной энергии, перешедшей от горячего к холодному потоку посредством массопередачи:

$$F_M = G_{д,мд} / J \quad (36)$$

$$КТП = (T_{я,к} - T_{M1}) / (T_{я,п} - T_{M2}) \quad (37)$$

$$\eta_{мд} = J \cdot \Delta H \cdot 100 / (J \cdot \Delta H + 0,001 \kappa_M (T_{M1} - T_{M2}) / \delta) \quad (38)$$

В исследованиях состав воды Каспийского моря принят характерный для Апшеронского полуострова Азербайджанской республики, со средней температурой 15°С, солесодержанием 12767 мг/дм³:

$$S_{Ca} = 320; S_{Mg} = 728; S_{Na} = 3177; S_{Cl} = 5034; S_{SO_4} = 3264; S_{HCO_3} = 244; pH = 8,2.$$

Как и в большинстве работ, посвященных данной тематике в исследованиях величина $G_{д1}$ была принята равной 1 кг/с, с возможностью пересчета всех потоков на произвольное значение этого показателя.

Исследования были выполнены в двух вариантах решения сульфатной проблемы на стадии термической дистилляции: ограничение величины конверсии ($KD_1 < 0,5$) и использовании антинакипина, а также нанофильтрационной обработкой, позволяющей повысить KD_1 до 0,8÷0,85. Для предотвращения карбонатной накипи в обоих случаях предусматривалось подкисление с доведением остаточного содержания ионов HCO_3^- до 0,3 мг/дм³.

В качестве входного варьируемого фактора стадии нанофильтрации коэффициент конверсии пермеата принят – $\beta = 0,5 \div 0,8$. Селективности мембраны по одновалентным и двухвалентным ионам – 0,6 и 0,98 соответственно. Остаточные концентрации ионов стадии НФ рассчитывались по формулам (3) и (4), расходы пермеата и концентрата – на основании формул (1), (2) и (5).

При исследовании стадии термической дистилляции варьировались: температура кипения $T_k = 60 \div 90$ °С; температурный напор $\Delta T_{исп}(T_d - T_k) = 1 \div 5$ °С; величина конверсии дистиллята – $KD_1 = 30 \div 50$ % при использовании антинакипина и $KD_1 = 50 \div 80$ % - при умягчении нанофильтрацией. Показатель степени сжатия, $\gamma = 0,32$; к.п.д. компрессора $\eta = 0,75$. По приведенным выше зависимостям определялись энергетические показатели, удельные поверхности нагрева, проверялись условия образования сульфатной накипи – W , $\delta F_{пкн}$, K_{CaSO_4} .

Стадия МД исследовалась на примере плоскорамного модуля с тремя марками мембран (таблица 1), которые характеризуются высокой удельной производительностью.

Таблица 1.

Технологические показатели мембран

Фирма-производитель	Марка	Материал	Толщина δ , мкм	Радиус пор r , мкм	Пористость ϵ , %
Gelman	TF-450	PTFE/PP	60	0,225	80
Milipore	Durapore	PVDV	125	0,1	75
Gore	-	PTFE	77	0,225	89
Vladipor	МФФК-4	PTFE/PP	130	0,325	80

Примечание: PTFE – Политетрафторэтилен; PP- Полипропилен; PVDV- Поливинилденефторид

В исследованиях варьировалась: $t_{г.вх}=50\div 90^{\circ}\text{C}$, фиксировались $t_{х.вых}=30^{\circ}\text{C}$, $t_{х.вх}=20^{\circ}\text{C}$, $t_{г.вых}$ принимался на 10°C меньше чем $t_{г.вх}$. Рассчитывались – коэффициент проницаемости мембраны (C_m) требуемая поверхность мембран (F_m), тепловой к.п.д ($\eta_{мд}$) процесса МД и ряд других показателей. При расчете температур горячей и холодной поверхностей мембраны использовался итеративный метод.

3.Обсуждение результатов исследований

Как было отмечено выше одна из главных особенностей настоящих исследований связана с такой особенностью воды Каспийского моря, как высокий потенциал образования накипи CaSO_4 при температуре кипения более $90\div 100^{\circ}\text{C}$ и величине коэффициенте конверсии дистиллята - КД₁

(коэффициенте извлечения чистой воды из морской) более 50%. Для организации процесса в области более высоких температур кипения коэффициентов конверсии, позволяющей снизить затраты на опреснение, предлагается решать проблему сульфатного накипеобразования методом нанофильтрационного умягчения. В таблице 2 приведены результаты компьютерной симуляции, по которой можно судить о влиянии коэффициента конверсии пермеата – β , на остаточные концентрации компонентов сульфатной накипи и общее солесодержание пермеата, который используется в качестве питательной воды испарителя.

Таблица 2

Влияние коэффициента конверсии пермеата НФ на показатели его качества, мг/дм³

β	S_{Ca}	S_{Mg}	S_{SO_4}	S_n
0,5	8,8	20	94,8	4128
0,6	9,7	22	104,2	4367
0,7	10,9	24,6	117	4674
0,8	12,7	28,8	136	5098

Как следует из таблицы при исходной концентрации ионов кальция, магния и сульфат-ионов 320, 728 и 3264 мг/дм³ их остаточные значение снижаются в среднем до 10,5; 23,8 и 113 мг/дм³, соответственно. Что касается общего содержания солей, то оно снижается в среднем в 2,8 раза: от 12767 до 4557 мг/л. Повышение величины β способствует нелинейному росту остаточных концентраций. Это объясняется тем, что с повышением β увеличивается концентрация ионов в остаточном концентрате, часть которых проникает через мембрану в камеру пермеата. В исследуемой области для двухвалентных ионов этот рост составляет

43÷44%, а для солесодержания в целом – 24%. Такое различие объясняется низкой селективностью нанофильтрационных мембран по одновалентным ионам.

О том насколько предварительное нанофильтрационное умягчение способно решить проблему сульфатной накипи в области высоких температур кипения и коэффициентах конверсии дистиллята можно судить по величине степени насыщения - K_{CaSO_4} , значения которого менее 100% являются условием отсутствия накипеобразования (рис. 2).

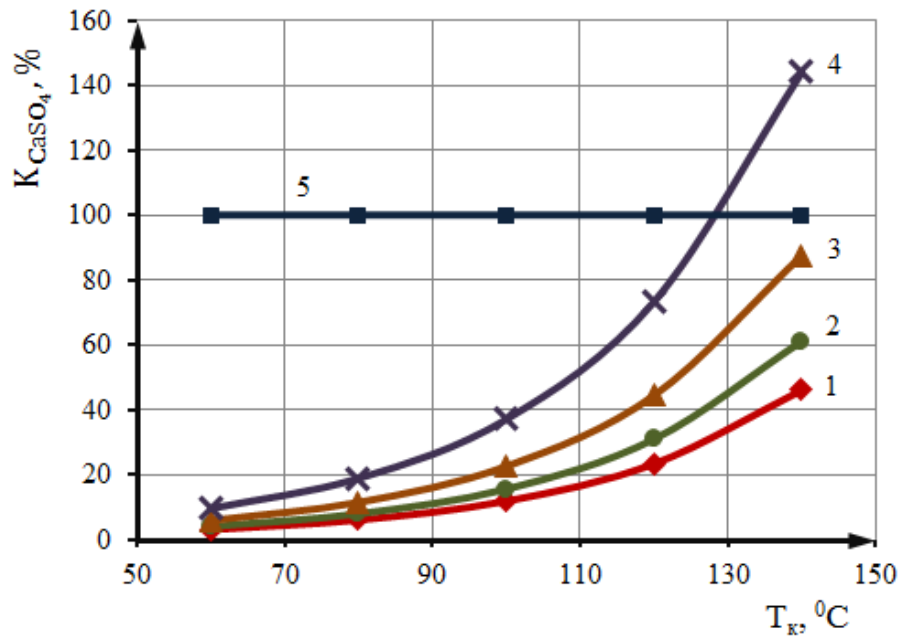


Рис.2. Влияние температуры кипения и коэффициента конверсии на степень насыщения по сульфату кальция: 1-КД₁=50; 2-60; 3-70; 4-80; 5-К_{CaSO₄}=100%

Из представленного рисунка следует, что лишь при одновременном выполнении условий $T_k > 130^\circ\text{C}$ и $\text{КД}_1 > 80\%$ можно прогнозировать образование накипи сульфата кальция из каспийской воды умягченной методом нанофильтрации. Во всей остальной области обеспечивается безнакипный режим работы.

Увеличение КД₁, независимо от температуры кипения, способствует снижению расхода концентрата испарителя - $G_{\text{к.и}}$ от 1 до 0,25 кг/с и одновременному повышению содержания концентрата - $S_{\text{к.и}}$ от 9,38 до 23,4 г/л, что объясняется вытекающим из формул (6), (7) и (8) соблюдением материального баланса (рис.3).

Согласно результатам исследований стадии термического опреснения с механической компрессией вторичного пара с повышением температуры кипения и температурного напора происходит снижение расхода электрической энергии на работу компрессора (рис.4). В области температур

кипения $60 \div 140^\circ\text{C}$ расход электроэнергии на работу компрессора снижается от 28 до 19,4 кВт·ч/м³ при $\Delta T_{\text{ис}} = 4^\circ\text{C}$ и от 19,2 до 13,4 кВт·ч/м³ при $\Delta T_{\text{ис}} = 1^\circ\text{C}$, т.е. примерно на 30 % независимо от величины температурного напора. При этом наиболее существенное снижение имеет место до температуры кипения $110 \div 120^\circ\text{C}$ и данная зависимость близка к гиперболической. Влияние температурного напора подчиняется линейному закону и в исследуемой области повышение W составляет $6 \div 9,2$ кВт·ч/м³ при температуре кипения $140 \div 60^\circ\text{C}$, соответственно. Снижение расхода энергии с повышением температуры кипения объясняется тем, что снижение удельного объема пара превалирует над повышением его давления. Таким образом с точки зрения минимизации расхода энергии целесообразно организовать процесс термической дистилляции области температур при высоких температурах: $120 \div 130^\circ\text{C}$ и низких температурных напорах: $1 \div 2^\circ\text{C}$.

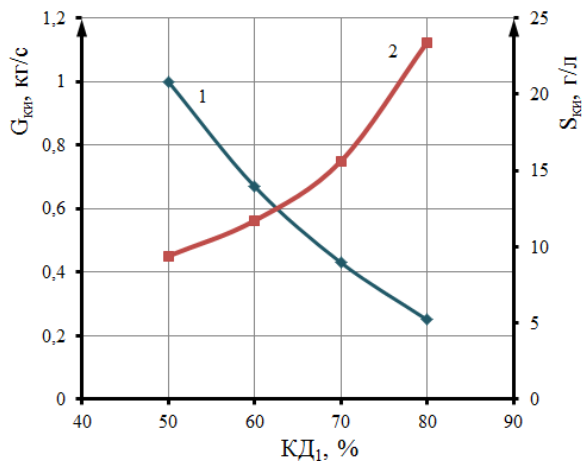


Рис.3. Влияние коэффициентах конверсии дистиллята на расход концентрата испарителя и его содержание: 1- $G_{\text{к.и}}$; 2- $S_{\text{к.и}}$

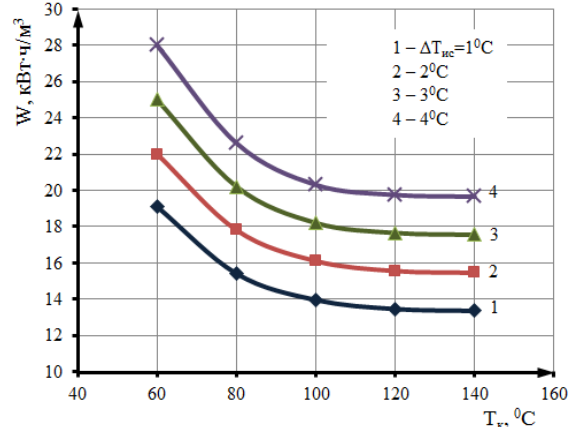


Рис.4. Влияние температуры кипения и температуры напора на удельный расход электроэнергии (КД₁=70%)

Коэффициент конверсии дистиллята очень слабо влияет на энергозатраты (рис.5), так как концентрат испарителя характеризуется низким содержанием (9,38±23,4 г/л), соответственно – низкими значениями температурной депрессии, в отличие от океанской воды, содержание которой составляет 35 г/л.

Коэффициент конверсии дистиллята практически не влияет также на удельную поверхность теплообмена, а температура кипения и температурный напор в совокупности оказывают существенное влияние на этот показатель, что следует из рис.6. Увеличение температуры кипения и температурного напора способствует снижению

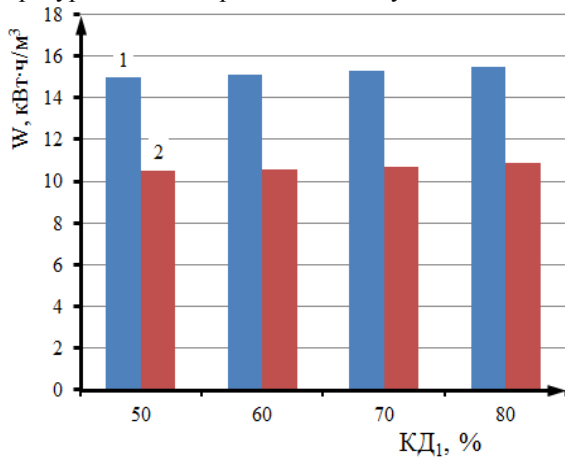


Рис.5. Влияние коэффициента конверсии дистиллята на энергозатраты ($\Delta T_{ис}=2^{\circ}C$): 1 - $T_{к}=60^{\circ}C$; 2 - $T_{к}=120^{\circ}C$

удельной поверхности, что объясняется повышением коэффициента теплопередачи в соответствии с формулой (14), а также обратной зависимостью поверхности нагрева от температурного напора, что вытекает из уравнения теплопередачи (13). Обращает внимание на себя тот факт, что влияние температуры кипения повышается при низких значениях температурного напора. Причем наиболее заметное влияние наблюдается до величин $T_{к}=100\div110^{\circ}C$. Дальнейшее повышение $T_{к}$, особенно в области высоких значений температурного напора, слабо влияет на удельную теплообменную поверхность.

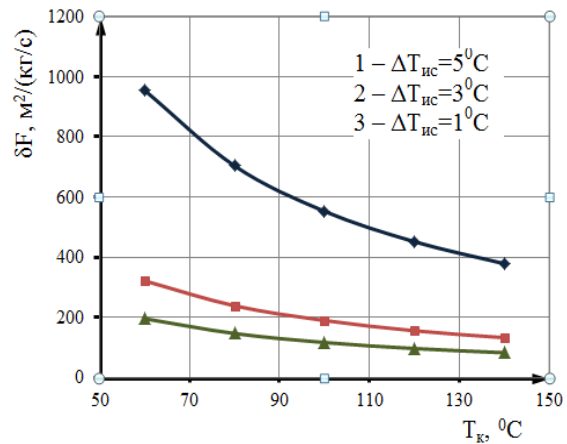


Рис.6. Влияние температуры кипения и температурного напора на удельную теплообменную поверхность ($КД_1=75\%$)

Первый этап исследований по мембранной дистилляции остаточного концентрата испарителя был посвящен сравнительному анализу трех типов мембран, технические характеристики которых приведены в таблице 1. В этих исследованиях

средняя температура мембраны принималась $40\div70^{\circ}C$. По формуле (21) рассчитывались коэффициенты проницаемости мембран, значения которых приведены на рис.7.

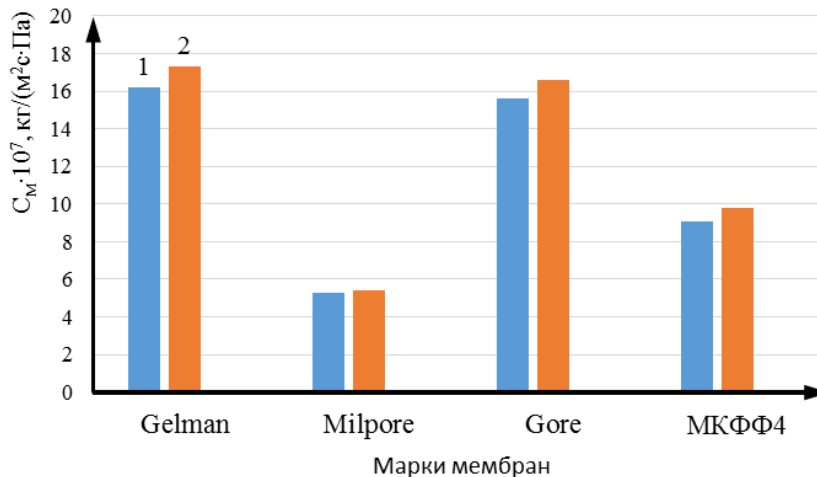


Рис.7. Коэффициенты проницаемости мембран при температурах: 1 - $t=40^{\circ}C$; 2 - $t=70^{\circ}C$

Как следует из полученных данных, наибольшее значение коэффициента проницаемости характерно для мембраны марки Gelman: $(1,62-1,73)\cdot 10^{-6}$ кг/(м²·с·Па). С повышением средней температуры мембраны коэффициент проницаемости увеличивается примерно на 7%. Исходя из

этого в дальнейших исследованиях предусматривалось использование данной мембраны.

При расчете модуля МД учитывалось, что согласно литературным данным выход опресненной воды даже теоретически не может превышать 10% от питательной, в качестве которой в рассматрива-

емом случае используется концентрат (продувочная вода) испарителя. Поэтому выход опресненной воды был принят равным 8%-ам от питательной, т.е. $G_{мд}=0,08G_{к.и}$. На первом этапе исследовалось влияние температуры кипения в испарителе на технологические показатели стадии МД-опреснения в случае решения сульфатной проблемы только ингибированием кислоты и антيناки-

пина, когда максимальное значение коэффициента конверсии ограничивается величиной $\leq 0,5$. Температура кипения варьировалась в интервале $60\div 90^{\circ}\text{C}$, а температуры остаточного концентрата МД, холодного пермеата, нагретого пермеата фиксировались как показано выше. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

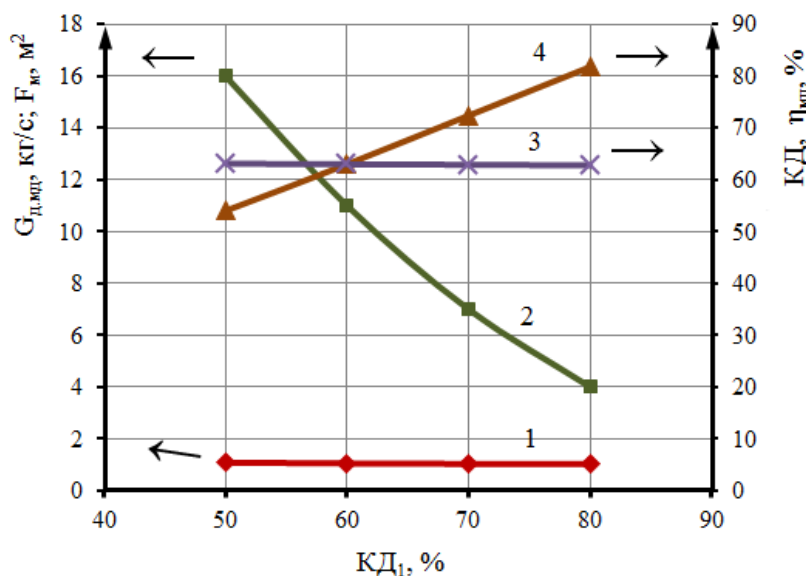
Влияние температуры питательной воды модуля МД на основные технологические показатели процесса ($KD_1=50\%$; $KD_2=8\%$)

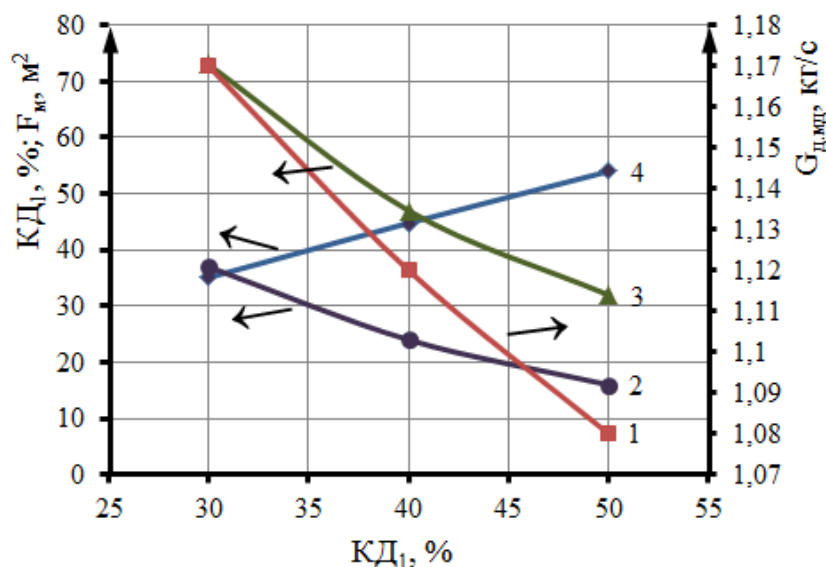
Показатели	$T_k, ^{\circ}\text{C}$			
	60	70	80	90
$G_{мд}, \text{кг/с}$	0,08	0,08	0,08	0,08
T_m, K	313,3	318,3	322,3	328,6
$C_m \cdot 10^6, \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$	1,62	1,64	1,66	1,68
$J_m, \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	10,3	13,4	17,2	21,8
$F_m, \text{м}^2$	31,5	24,9	19,8	16,0
$f_m, \text{м}^2/(\text{кг/с})$	393,8	311,3	247,5	200,0
$\eta, \%$	48,8	52,0	55,1	58,1

Как следует из полученных результатов повышение температуры кипения на 30°C в испарителе приводит к увеличению средней температуры мембраны на $15,3 \text{ K}$ и незначительному (1,2%) линейному росту коэффициента проницаемости мембраны. Вместе с тем имеет место более чем двухкратное повышение значения удельной производительности мембраны (J_m) и почти такое же снижение требуемой общей и удельной площади мембраны (F_m, f_m). Повышение температуры кипения способствует повышению к.п.д. процесса на 19%. Указанный характер влияния температуры на величину J_m объясняется тем, что с увеличением температуры питательной воды модуля МД увеличивается разность температур на горячей и холодной сторонах, которая является движущей силой процесса. Снижение площади мембраны с повышением J_m объясняется обратной зависимостью

этих показателей. Как и следовало ожидать, лучшие показатели характерны для температуры кипения 90°C , которая считается максимально допустимой исходя из фундаментальных основ процесса МД.

Изменение KD_1 в интервале $30\div 50\%$ (рис.8,а) отражается в основном на величине общего коэффициента конверсии (KD), который увеличивается примерно в два раза независимо от температуры кипения в испарителе, а также на требуемую площадь мембраны (F), которая уменьшается на 56% и зависит также от температуры кипения. Как видно из рисунка увеличение температуры кипения от 60°C до 90°C способствует снижению F , в среднем в 2 раз, что объясняется повышением парциального давления пара на горячей поверхности мембраны из-за повышения температуры.

а) 1 – $G_{дмд}$; 2 – F_m ; 3 – $\eta_{мд}$; 4 – KD .



б) 1 – $G_{Д,МД}$; 2 – $F_{М}$ ($T_{к}=90^{\circ}C$); 3 – $F_{М}$ ($T_{к}=60^{\circ}C$); 4 – $K_{Д}$

Рис.8. Некоторые технологические показатели процесса МД при низких (а) и высоких (б) значениях коэффициента конверсии в испарителе.

Как было показано выше, предварительное нанофильтрационное умягчение решает проблему сульфатной проблемы и позволяет организовать процесс термической дистилляции в области высоких температур кипения – до $140^{\circ}C$ и коэффициентов конверсии дистиллята – до 80%. В этой связи на рис.8,б приведен график, отражающий влияние коэффициента конверсии ($K_{Д1}$) на выходные показатели МД при максимально допустимой температуре кипения в испарителе – $90^{\circ}C$. Из полученных результатов следует, что с увеличением $K_{Д1}$ от 50% до 80% расход дистиллята стадии МД снижается от 0,08 до 0,02 кг/с, что объясняется уменьшением расхода продувочной воды испарителя. В свою очередь, это приводит к снижению требуемой площади мембраны ($F_{М}$). При этом, суммарный выход дистиллята снижается от 1,08

до 1,02 кг/с, а суммарная конверсия ($K_{Д}$) – наоборот, повышается от 54 до 82%, так как с повышением $K_{Д1}$ существенно снижается расход питательной воды испарителя. Что касается к.п.д ($\eta_{МД}$), то этот показатель практически не изменяется и составляет 63%.

С учетом температурного ограничения ($\leq 90^{\circ}C$) производительность стадии МД может быть повышена при температуре кипения в испарителе $\geq 100^{\circ}C$ путем смешивания продувочной воды испарителя с умягченной водой после стадии НФ (пунктирная линия на рис.1) и повышения таким образом расхода питательной воды. В таблице 3 приведены характерные для данного режима расход питательной воды ($G_{П,МД}$) и производительности модуля МД ($G_{МД}$).

Таблица 3

Показатели модуля МД при питании разбавленным концентратом стадии МПК

$T_{к}$, $^{\circ}C$	$K_{Д1}$, %							
	50		60		70		80	
	$G_{МД}$, KG/C	$G_{П,МД}$, KG/C	$G_{МД}$, KG/C	$G_{П,МД}$, KG/C	$G_{МД}$, M^2	$G_{П,МД}$, KG/C	$G_{МД}$, KG/C	$G_{П,МД}$, KG/C
100	0,089	1,11	0,059	0,737	0,036	0,479	0,022	0,28
110	0,098	1,22	0,065	0,817	0,042	0,529	0,024	0,31
120	0,107	1,33	0,071	0,887	0,046	0,569	0,027	0,33
130	0,116	1,44	0,077	0,967	0,05	0,619	0,029	0,36
140	0,124	1,55	0,082	1,037	0,053	0,669	0,031	0,39

Из данных таблицы следует, что с увеличением температуры кипения в испарителе и постоянных значениях коэффициента конверсии примерно на 40% увеличивается как расход питательной воды модуля МД, так и расход полученного дистиллята, что объясняется повышением расхода умягченной воды для доведения температуры концентрата испарителя до допустимых $90^{\circ}C$. Вместе с тем, независимо от температуры кипения в испарителе, увеличение $K_{Д1}$ от 50 до 80 % приводит к 4-ох кратному снижению расхода полученного

дистиллята, что обусловлено снижением расхода остаточного концентрата и, соответственно, расхода питательной воды модуля МД.

4. Заключение

Термическое опреснение воды Каспийского моря с механической компрессией вторичного пара в сочетании с предварительным нанофильтрационным умягчением исключает возможность выпадения накипи сульфата кальция на поверхности нагрева и позволяет организовать процесс термической дистилляции в области высоких тем-

ператур ($130\div 140^{\circ}\text{C}$) и величинах конверсии дистиллята ($70\div 80\%$). Увеличение температуры кипения до указанных величин, в свою очередь, способствует снижению расхода электроэнергии на работу механического компрессора в среднем на 30%, а теплообменной поверхности – на $20\div 25\%$.

Возможна рекуперация тепла продувочной воды испарителя с попутным использованием для выработки дополнительного количества дистиллята в модуле мембранной дистилляции. Для этой цели целесообразно использовать мембрану марки TF-450, фирмы Gelman, характеризующуюся высоким значением коэффициента проницаемости. При рассматриваемом, однопроходном, режиме в модуле МД может быть выработано дистиллята в количестве до 8%-ов от расхода поступающей продувочной воды, температура которой будет влиять на требуемую поверхность мембраны. При решении сульфатной проблемы путем использования антинакипинов и допустимой величине конверсии дистиллята на стадии ПКИ равной 50%-ам, с повышением температуры продувочной воды от 60 до 90°C удельная площадь мембраны снижается от 394 до $200\text{ м}^2/(\text{кг}/\text{с})$. При нанофильтрационном методе решения сульфатной проблемы и возможности повышения коэффициента конверсии до 80%-ов, температуры кипения в испарителе до 140°C , для снижения этой температуры на входе в модуль МД до допустимых 90°C может быть использован пермеат стадии нанофильтрации. При этом, выработка дополнительного количества дистиллята составит $0,02\div 0,03\text{ кг}/\text{с}$ при величине конверсии дистиллята на стадии ПКИ равной 80% и $0,09\div 0,12\text{ кг}/\text{с}$ – при величине конверсии 50%. Таким образом, в отличие от данных [10], при нанофильтрационном методе решения сульфатной проблемы, становится не совсем очевидной целесообразность интегрирования технологий пароконпрессивной и мембранной дистилляции. В этой связи дальнейшие исследования могут быть посвящены вопросам изучения технико-экономических и оптимизационных аспектов рассматриваемой гибридной системы опреснения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. N. Eckardt, E. Cominelli, M. Galbiati, C. Tonelli, The future of science: food and water for life, *Plant Cell* 21 (2) (Feb. 2009) 368–372.
2. A.K.El-Feky Mechanical Vapor Compression (MVC) Desalination System Optimal Design. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, 94 (3), (1-13) 2016.
3. Enrico Drioli, Amer Ali, Francesca Macedonio. Membrane distillation: Recent developments and perspectives. *Desalination* 356 (2015) 56–84.4. Edward K. Summers
4. Hassan A. Arafat, 4. John H. Lienhard V. Energy efficiency comparison of single-stage membrane

distillation (MD) desalination cycles in different configurations. *Desalination* 290 (2012) 54–66.

5. Kai-kai ZHU. Energy Consumption Analysis by Mechanical Vapor Compression Technology. 2nd ICESE, 2017. Shanghai. p.13-18.

6. Surkov S.V., Hussam Ghanem. Optimal operational regimes of sea water desalination plants with mechanical vapor compression. *Odessa National Polytechnic University*, 2017. 2(52). 54-58.

7. Jiaye Ma, et al. Recovering Wastewater in a Cooling Water System with Thermal Membrane Distillation. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2018, 57, 31, 10491–10499

8. Rubina Bahar et al. Fresh water production by membrane distillation (MD) using marine engine's waste heat. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. V.42, 2020, 100860

9. A.M. Helal. Hybridization - A new trend in desalination. *Desalination and Water Treatment* 3(2009)120-135.

10. Jaichander Swaminathan, Kishor G. Nayar, John H. Lienhard V. Mechanical Vapor Compression–Membrane Distillation Hybrids for Reduced Specific Energy Consumption. *Desalination and Water Treatment* 57, N55 (2016) 26507-26517.

11. Фейзиев Г.К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. Изд. 2-е, Баку: «Тахсил» ТПП, 2009, 442с.

12. Dong Zhou, Lijing Zhu, Yinyi Fu, Minghe Zhu, Lixin Xue. Development of lower cost seawater desalination processes using nanofiltration technologies — A review. *Desalination* 376 (2015), p.109-116.

13. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999, 513с.

14. El-Dessouky H.T., Ettouney H.M. Fundamentals of Salt Water. *Desalination ELSEVIER*, Amsterdam, Tokio, 2002, 691 p.

15. Рудобашта С.П., Махмуд С.Ю. Мембранная дистилляция морской воды и установка для ее проведения. МНТК ПЛАНОВСКИЙ, 2016, Т. 1, с.393-396.

16. Агамалиев М.М., Ахмедова Д.А. Исследование технологии пароконпрессивного опреснения воды Каспийского моря с предварительным нанофильтрационным умягчением. *Энергосбережение и Водоподготовка*, №5 (121), Москва, 2019, с.3-8.

17. Gloede M, Melin T. Physical aspects of membrane scaling. *Desalination* 224. 2008. p.71-75.

18. Рудобашта С.П., Махмуд С.Ю. Математическое моделирование процесса мембранной дистилляции. *Химия и химическая технология*, 2012, т.55, в.11, с.100-103.

19. A.Khalfa, H.Ahmad, M.Antar, T.Laoui, M.Khayef. Experimental and theoretical investigations on water desalination using direct contact membrane distillation/ *Desalination* 404(2017)22-34.

USING OF UAV IN COLLECTING GEOSPATIAL DATA FOR THE PURPOSE OF SOLVING ENGINEERING PROBLEMS IN URBAN CONSTRUCTION**Akhmedov B.,***Senior Lecturer**Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe***Akhmedova G.***Master of 2nd course**Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe***ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ПРИ СБОРЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ С ЦЕЛЬЮ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ****Ахмедов Б.Н.,***старший преподаватель**Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими**г. Душанбе***Ахмедова Г.З.***Магистрант 2-го курса**Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими**г. Душанбе***Abstract**

The article describes the features of such a unique method of using unmanned aerial vehicles in conjunction with the traditional method of collecting geospatial data in large engineering structures. Currently, infrastructure facilities with a large territory are found in all cities and regions of the Republic of Tajikistan and other countries of the World. This approach to collecting geodata allows you to speed up the process of collecting, processing and creating three-dimensional models of objects, as well as a digital model of the terrain situation. Based on the results of the data obtained, it is possible to solve engineering problems during the construction and exploitation of unique structures.

Аннотация

В статье рассматриваются особенности такого уникального метода использования беспилотных летательных аппаратов совместно с традиционным методом сбора геопро пространственных данных в крупных инженерных сооружениях. В настоящее время объекты инфраструктур с большой территорией встречаются во всех городах и районах Республики Таджикистан и других стран мира. Данный подход сбора геоданных позволяет ускорить процесс сбора, обработки и создания трехмерных моделей объектов, а также модель ситуации местности в цифровом виде. По результатам полученных данных можно решать инженерные задачи при строительстве и эксплуатации уникальных сооружений.

Keywords: large engineering structure; three-dimensional model; geodata; unmanned aerial vehicles; digital model; unique structure; geodetic point; geospatial; exploitation.

Ключевые слова: крупное инженерное сооружение; трехмерная модель; геоданные; беспилотные летательные аппараты; цифровая модель; уникальное сооружение; геодезический пункт; геопро пространство; эксплуатация.

В сфере геодезического обеспечения горной промышленности, за последние пять лет БПЛА стал единственным успешным методом сбора геопро пространственных данных. Они оснащены цифровыми камерами для обеспечения аэрофото снимков высокого разрешения, которые затем обрабатываются для получения высокоточных ортофотоснимков, облака точек и 3D-моделей [2]. Эти данные могут использоваться для подсчета объемов земляных масс, создание цифровых моделей геопро пространства и ряд других инженерных задач. БПЛА могут также играть определенную роль в повышении уровня безопасности рабочих при сборе данных в любых сложных условиях местности.

В настоящее время на рынке геодезического оборудования появились разные ультракомпактные и легкие беспилотные системы дистанционно-

го зондирования. Неблагоприятные условия окружающей среды и труднодоступные места, делают БПЛА идеальным решением для получения геопро пространственных данных и создания цифровых моделей геопро пространства. Новая совмещенная технология в широкой геопро пространственной индустрии, является объединением БПЛА и традиционного метода измерений. Данную технологию можно принимать при геодезическом сопровождении и мониторинге крупных инженерных сооружений.

Применение БПЛА является самым экономически целесообразным, мобильным и наименее трудоемким способом при сборе данных в городских объектах инфраструктур, таких как спортивных комплексов в городе Душанбе (рисунок 1).



Рис. 1 Спортивный комплекс в городе Душанбе (а- ортофотоплан, б- общий вид)

Для обеспечения аэрофотосъемки опорой на земле заложены 7 постоянных геодезических пунктов вокруг каждого объекта спортивного

комплекса, координаты которых определены в условной системе координат с использованием тахеометра (рисунок 2).

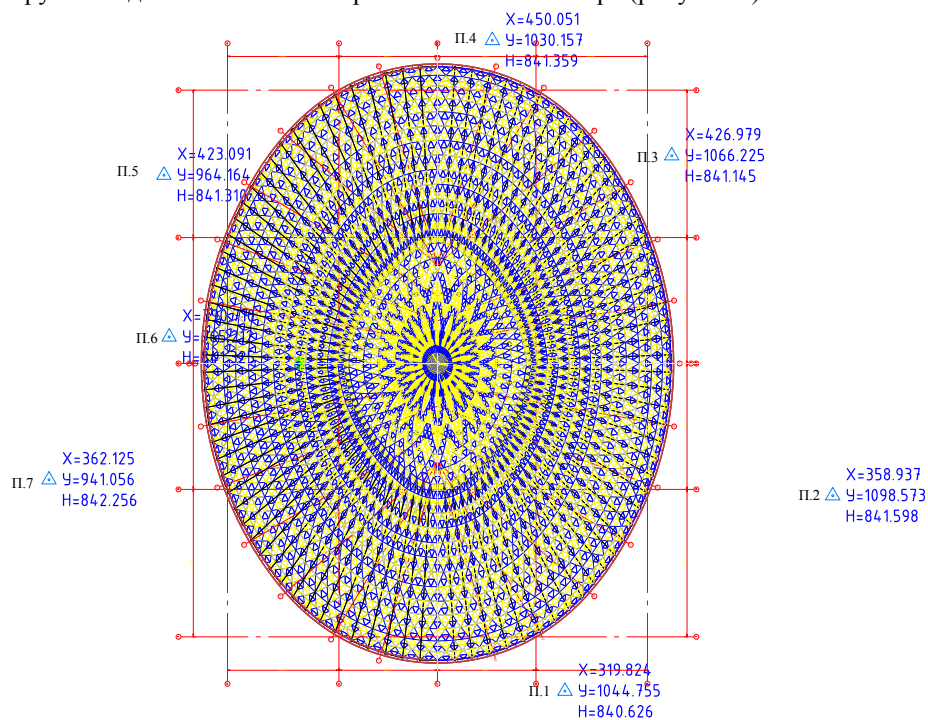


Рис. 2 Схема расположения опорных пунктов

В качестве исходных для привязки съемки служили заложённые геодезические пункты по всему контуру сооружения: П.1, П.2, П.3, П.4, П.5, П.6 и П.7. Постоянные геодезические пункты мар-

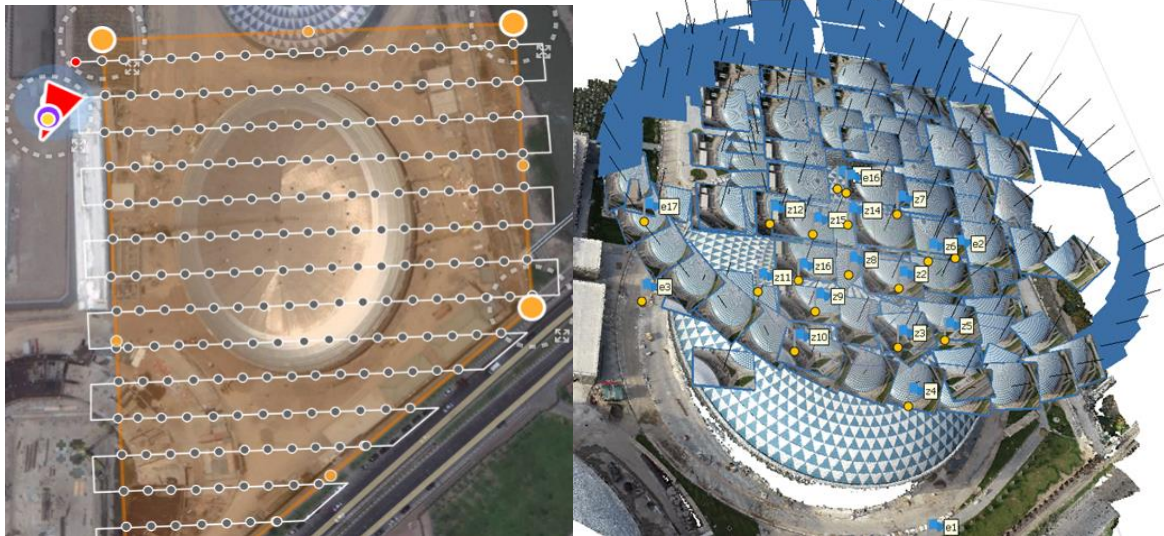
кировались специальными знаками и обозначениями для автоматического распознавания и присвоения им нумерации пунктов (рис. 3а и 3б).



а
Рис. 3 Маркировка опорных точек на земле б

Пред началом полёта необходимо в программе управления дроном задавать высоту и схему согласно которому будет совершен полет. В нашем примере аэрофотосъемка была проведена с высоты 50м согласно заданному маршруту полёта

(рис. 4а). Управление производилось программой Pix4d. Для получения точной модели объекта также установлены кольцевые маршруты, с наклонной камерой перпендикулярно снимаемой поверхности (рис. 4б).



а
Рис. 4. Маршруты полета и центры фотографирования б

Обработка проводилась в программном комплексе Agisoft Photoscan [4,5] по самой точной схеме обработки с самокалибровкой. На рис. 5

показана модель спортивного комплекса с маркерами опорных и связующих точек. Подробные параметры съемки проведены в таблицах 1 и 2.



Рис. 5 Модель спортивного комплекса

Таблица 1

Краткая характеристика облака точек

Дата	Снимков	Граней	Точек	Расстояние между точками, м
15.08.2019	159	308135	622346	0.085

Таблица 2

Параметры съемок и обработки

Дата съемки	Характеристика съёмки	Обработка
15.08.2019	Всего изображений: 159 Высота полёта: 74.1 м Разрешение съёмки: 1.74 см/пикс Площадь покрытия: 0.0367 км ² Позиций съёмки: 159 Связующих точек: 69,320 Проекций: 393,065 Ошибка репр-я: 1.04 пикс	Параметры выравнивания: Точность Вы-сокая Общая переселекция Да Преселекция по привязке Да Макс. количество точек 40,000 Макс. количество проекций 4,000 Версия 1.4.0 build 5076

Средние квадратические отклонения на опорных и контрольных точках приведены в таблице 3.

Таблица 3

Точность обработки аэрофотосъемки

Съёмка	СКО X, мм	СКО Y, мм	СКО Z, мм	Общая, мм	Фото, пикс
1	5.5	6.1	8.5	11.8	0.393

Полученные материалы могут быть использованы в различных отраслях народного хозяйства, например, в городском строительстве при проектировании или геодезическому сопровождению

большепролетных сооружений, где нахождение человека (речника) с целью определения координат точек очень опасно (рис. 6).



Рис. 6 Определение координат и отметок во время монтажа пространственной конструкции

Данная технология позволяет достигать точности в 1 см. Такая точность вполне достаточна для подсчета объемов земляных работ, построения детальной модели местности, а также наблюдения за деформацией крупных инженерных сооружений, расположенных в сложных геологических условиях и в зонах повышенной сейсмичности. Для построения модели деформации и решения других задач, необходимо экспортировать созданную модель в формат dxf. Для определения основных критических элементов, которые необходимо учитывать при управлении строительными рабо-

тами, в гражданском строительстве данный метод является достаточно автоматизированным и эффективным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аврунов Е.И., Горбачева А.А. Митрофанова Н.О. К вопросу о выборе метода определения координат при выполнении комплексных кадастровых работ// Материалы Первой национальной научно-практической конференции. Технический нефтегазовый институт СахГУ, Южно-Сахалинск, Россия:- в рамках 22-ой международной конфе-

ренции и выставки «НЕФТЬ И ГАЗ САХАЛИНА 2018». – С. 20–21.

2. Писарев В.С., Ахмедов Б.Н., Середович С.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в горном деле // Материалы Первой национальной научно-практической конференции /в рамках 22-ой международной конференции и выставки «НЕФТЬ И ГАЗ САХАЛИНА 2018». Технический нефтегазовый институт СахГУ.: 25-27 сентября 2018г., Южно-Сахалинск: С. 78-79.

3. Применение БПЛА в землеустройстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/338356685_Primereneniye_BPLA_v_zemleustrojstve.

4. Никита А.З., Кабзев А.А. Использование беспилотных авиационных систем при проведении маркшейдерских работ на разработках открытого типа // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 28–33.

5. Писарев В.С., Ахмедов Б.Н., Нурмухаметова А.Т., Тарабукин А.И., Построение цифровой модели временных отвалов карьера борок в программе agisoft photoscan// Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф.

«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018.– С. 34–40.

6. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: Монография. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с.

7. Писарев В.С., Ахмедов Б.Н. Автоматизированное обновление цифровых моделей геопространства // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр., 17–21 апреля 2017 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. –С 46-50.

8. Ахмедов Б.Н., Ахмедова Г.З. Сравнение технологии создания трехмерных моделей геопространства по геодезическим данным // Материалы II научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Таджикская наука – ведущий фактор развития общества». – г. Душанбе: ТТУ, 2017.- С 116-119.

9. Шоломицкий А.А., Ахмедов Б.Н. Collocation Filtering Регистрационный номер 2020662290.

10. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications. Страница интернет. Режим доступа. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-020-01766-2>

THE USE OF POLIHEKSAMETHYLENEGUANIDINE (PHMG) SALTS IN ALCOHOL PRODUCTION FROM STARCH-CONTAINING RAW MATERIALS

Boyko P.,

Ph.D. in Food Technology, Associate Professor of Biotechnology fermentation and winemaking, National University of Food Technology, Kyiv, Ukraine

Bondar M.,

Ph.D. in Food Technology, Associate Professor of Biotechnology fermentation and winemaking National University of Food Technology, Kyiv, Ukraine

Kuts A.

Ph.D. in Food Technology, Associate Professor of Biotechnology fermentation and winemaking National University of Food Technology, Kyiv, Ukraine

Abstract

Expediency of the use of poliheksamethyleneguanidine (PHMG) salts is reasonable as the antiseptic in alcohol production from starch-containing raw materials. In working environment its influence on the course of microbiological and biochemical processes, quality of semiproducts and alcohol was investigated and efficiency of the preparation «PHMG» for inhibition of contaminating microflora growth was confirmed.

Keywords: alcohol production, contaminating microflora, antiseptic preparation (antiseptic).

Introduction

Intensive introduction of the newest energy- and resource-saving technologies in alcohol production predetermined a transition of a number of enterprises in the industry to the technology of the low-temperature boiling and wide utilizing of unconventional and untraditional raw materials that is the basic source of infecting microorganisms in a manufacturing process [4,5]. It is known that products of metabolism of external microflora have a negative influence on the vital functions of yeasts, enzyme activity and

predetermine the super rational growth of wort acidity, that results in decrease of alcohol output and worsening its quality [1,2,3]. In the case of the thermal ferment processing use of grain raw materials, the problem of microbiological purity of production takes on the special significance.

For a long time the only way of the problem solving was periodic temperature sterilization of yeast fermentation equipment with the use of disinfectants [5]. Nowadays in alcohol production from starch-containing raw materials the use of antiseptics is gain-

ing greater popularity to inhibit the contaminating microflora development and decrease its activity. However, despite the spectrum of antiseptics being used in alcohol production technology is wide enough nowadays, information about technological and economic efficiency of their use, influence on the final product quality is absent. In this case there is a necessity to conduct researches towards that goal and to elaborate the recommendations for the use of antiseptics in alcohol industry.

« PHMG » in the ethanol production.

The implementing of the continuous fermentation mash method from starch-containing raw materials in the industry is limited by excessive growth of wort acidity. The use of the effective antiseptic preparation « PHMG » provided mash fermentation in conditionally-sterile environments, receiving the regulated indexes of fermented wort, that will allow to pass on the continuous way of mash fermentation from starch-containing raw materials.

Nowadays the antiseptic preparation «PHMG» is one of the most widespread in food industry, which basic descriptions are brought in table. 1.

Table 1.

Description of the antiseptic preparation « PHMG »

Active substance	Concentration of the active substance, %	Solubility in water	pH of solution
Poliheksamethyleneguanidine (PHMG)	20	good	6,0...9,0

The advantage of such preparations is a wide spectrum of antimicrobial action on gram-negative and gram-positive bacterium, viruses, yeast-like fungi and dermatophytes. In addition, the given preparation is characterized by good solubility and high inertness to metallic surfaces, glass and rubber, that eliminates possibility of equipment corrosion as a result of its using.

We investigated the influence of the antiseptic preparation «Polidez» on the techno-chemical indexes of the productive yeasts, mash in the process of its fermentation and chemical-technological indexes of fermented wort. The marked indexes were determined by the methods generally accepted in the industry [1].

The research of the use efficiency of the given antiseptic preparation was conducted in the conditions of a

state enterprise (SE) "Martynivskiy spyrtovyi zavod" (village Martynivka, Vinnytsya region) [2].

Corn is a basic raw material for the alcohol production on this enterprise. Indexes of raw material quality are brought in table 2.

For preparation of a batch maize was milled on a hammer crusher. Granulometric composition of grade was characterized by a passing through a sieve with the diameter of apertures 1 mm – 85...92%. The temperature of the batch was 38...40° C.

The batch was boiled at a temperature of 155...158° C during 40...45 min. Boiled mass was sugared at a temperature of 57...58° C during 35...40 min.

Table 2.

Indexes of raw material quality (maize)

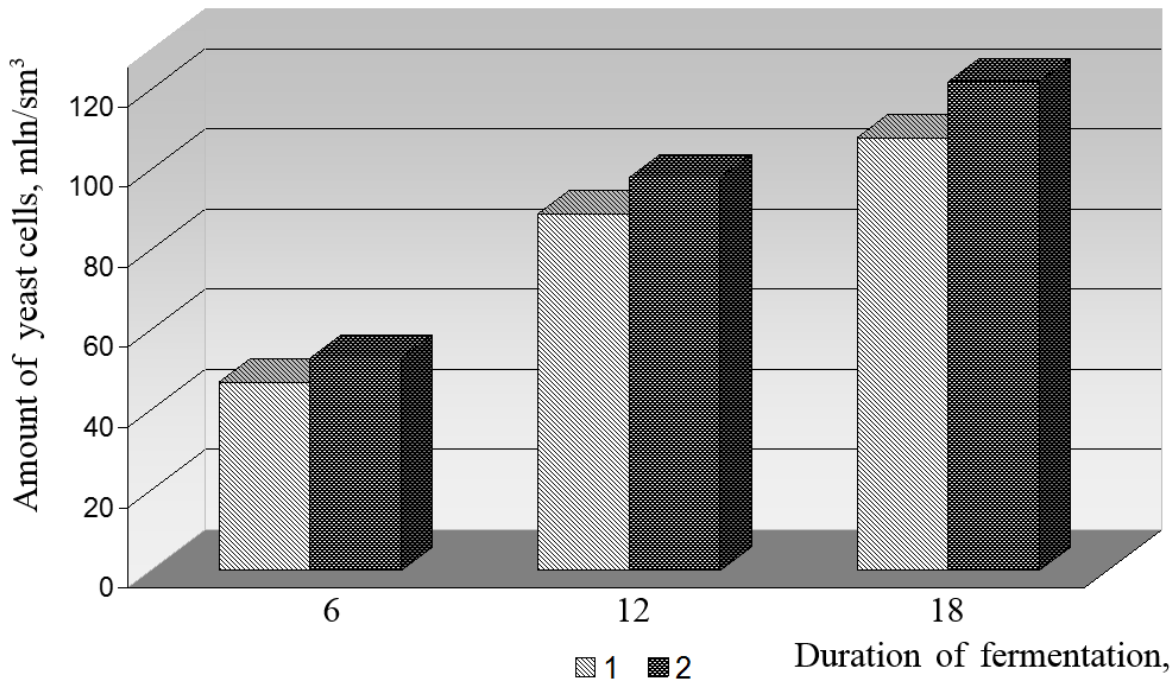
Starchiness, %	Humidity, %	Impurity, %
59,1...59,7	15,0...15,5	2,0

The sugaring of the batches was accomplished with the use of enzyme preparations BAN 480 L, San-Extra 240 L, which charges made up according 180 and 800 sm³/t of conditional starch. Mash fermentation was conducted with the use of sulphate yeasts of K-81 race. Duration of productive yeasts growing made up 15...18 hours at a temperature of 28...34 °C.

The content of dry substances (DS) of basic mash and mash for productive yeasts growing folded 16,5...17,5 %.

The techno-chemical indexes of semiproducts in alcohol production were determined in 10 yeast seed vessels and 10 fermenters without adding an antiseptic preparation (a control), and in the same amount of fermenters and yeast seed vessels, with adding the antiseptic preparation " PHMG " with the concentration 20 sm³/m³ of mash into them.

Mash fermentation and preparation of yeasts was accomplished by a periodic method. The capacity of one fermenter made up 110 m³ and 120 m³, yeast seed vessels – 12 m³.



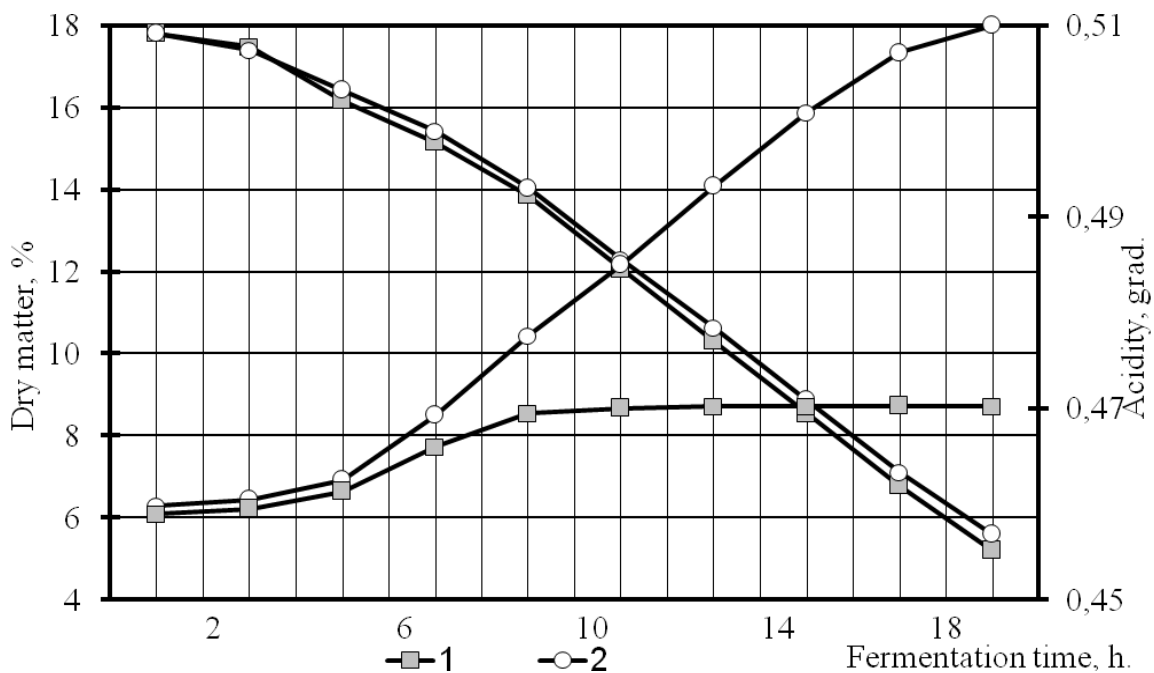
Draw. 1. The biomass accumulation of productive yeasts during growing them on mash: 1 – without the antiseptic 2 - with adding the antiseptic preparation "PHMG" with the concentration 20 sm³/m³ of mash (average value).

It is determined that adding the mentioned antiseptic preparation into mash for productive yeasts growing slightly reduced the reproduction speed of yeast cells (draw. 1).

But after 3 generations process intensification of yeast biomass accumulation passed during all period of their generations by 6,7...10,6 %, as a result of their adaptation to the antiseptic, comparing with the control. Furthermore, in all experienced yeast seed vessels, in which the antiseptic preparation " PHMG "

was added, dead yeast cells were absent. The concentration of yeast cells made up 120...125 mln/sm³ [2].

Adding the antiseptic preparation "Polidez" to mash repressed the accumulation of acid-formed bacterium substantially, that was confirmed by accumulation speed decrease of mash acidity. Eventual acidity of productive yeasts with addition of the antiseptic was lower in comparison with the control, by 0,04 gr. (draw.2).

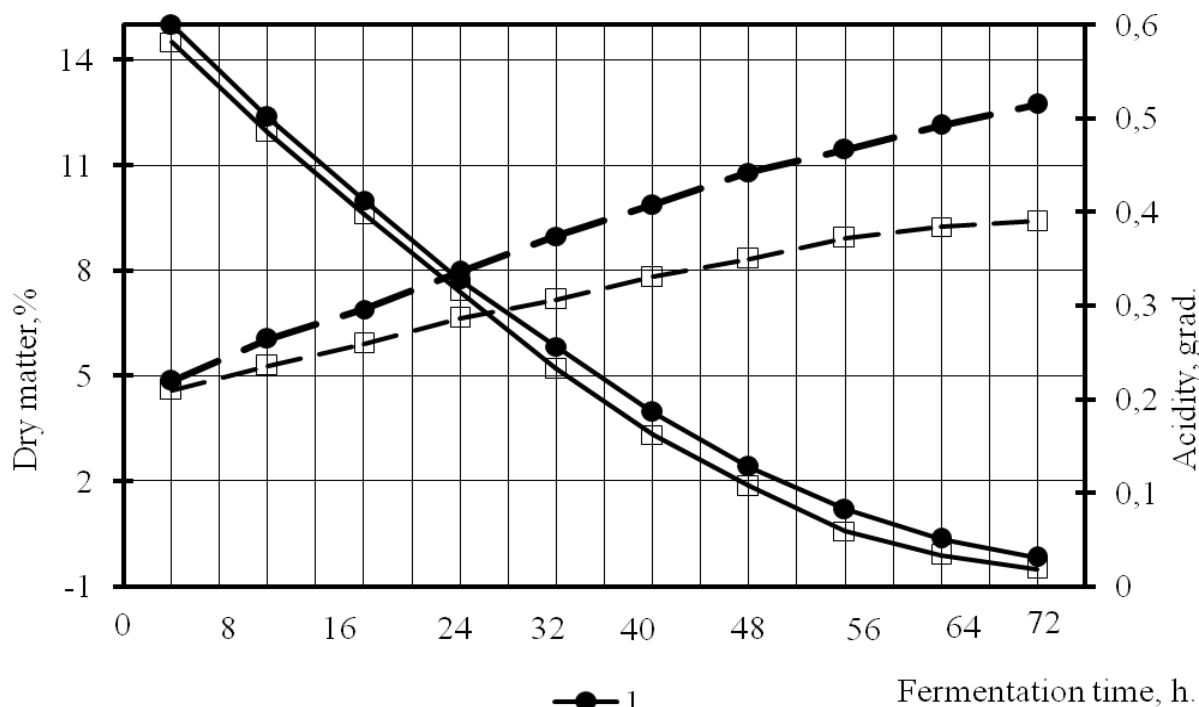


Draw. 2. Fermentation of DS and accumulation dynamics of titred acidity of productive yeasts during growing them on mash: 1 – without the antiseptic 2 - with adding the antiseptic preparation " PHMG " with the concentration 20 sm³/m³ of mash (average value) .

During the researches it is determined that adding the antiseptic preparation "Polidez" in fermenters in amount $20 \text{ sm}^3/\text{m}^3$ of mash at the beginning of the fermentation process largely influenced on motion of biochemical processes and chemical-technological indexes of fermented wort (table.3).

It is determined that the mentioned antiseptic use in the concentration marked above repressed the process of acid accumulation in mash comparatively with the control model, accordingly by 31...46% during all process of its fermentation and reduced eventual acidity of fermented wort by 0,18 gr. (draw. 3).

Repressing the acid-formed bacteria development in mash with the use of the antiseptic preparation "Polidez" in the mentioned concentration helped more active growth and reproduction of yeasts that was confirmed 6 % higher content of yeast cells, than in fermenters without the antiseptic. Lower, comparatively with the control, content of unfermented carbohydrates and insoluble starch (table. 3) in fermented wort with the mentioned antiseptic confirms the increase of yeast fermentation activity and higher, comparatively with the control, activity of enzyme preparations.



Draw. 3. Fermentation of DS and accumulation dynamics of titred acidity of productive yeasts during growing them on mash: 1 – without the antiseptic 2 - with adding the antiseptic preparation " PHMG " with the concentration $20 \text{ sm}^3/\text{m}^3$ of mash (average value) .

Table 3.

Chemical-technological indexes of fermented wort.

Indexes	Without an antiseptic (control)	With the antiseptic «Polidez»
Insoluble starch, g/of 100 cm^3	0,0925	0,0861
Unfermented sugars, g/of 100 cm^3	0,3260	0,3120
Ethanol, at. %	8,9750	8,9857

It is necessary to mark that decline of the microbiological pollution level of productive yeasts and fermented wort assisted the process intensification of mash fermentation and the alcohol output increase, comparatively with the control – mash without the antiseptic, by 0,12 %.

The decline of the productive substrate infection and the increase of yeast fermenting activity influenced on composition and quantitative content of alcohol fermentation side products.

During research of composition and content of fermentation side products in fermented wort it is de-

termined, that the use of the antiseptic preparation "Polidez" in the concentration of $20 \text{ sm}^3/\text{m}^3$ assisted the decline of acetaldehyde content, comparatively with the fermented wort, got from mash without an antiseptic, in 1,5 times, that affirms about more complete fermentation of carbohydrates, and also the decline of ether content in 1,4 times, that obviously related with smaller content of higher alcohols and acids than in the control, which products of interaction in fermented mass are complex ethers (table. 4).

Table 4.

Accumulation of volatile admixtures in fermented wort, mg/dm ³		
Index	Control (without the antiseptic)	With addition of the antiseptic « PHMG »
Aldehydes	90,45	59,91
Ethers	32,50	23,06
Acids	168,60	94,50
Higher spirits	455,30	330,45

Conducted comparative evaluation of alcohol quality got without the use of the antiseptic and with the use of the antiseptic preparation « PHMG » has shown, that content and physical and chemical indexes

of the alcohol sample, got with the use of the antiseptic, corresponded to the requirements of his state standard (table.5).

Table 5.

The physical and chemical indexes of rectified ethyl alcohol

Name of index	Control (without the antiseptic)	With adding the antiseptic "Polidez"
Volume part of ethanol, at a temperature of 20 °C, %	96,4	96,4
A test on cleanness with sulphuric acid	passes	passes
Test on oxidability at a temperature of 20 °C, min	21,0	23,0
Mass concentration of fusel oil, in a count on mixture isoamyl and isobutyl alcohols (1:1) in a waterless alcohol, mg/dm ³	2,2	1,9
Mass concentration of aldehydes, in a count on an acetaldehyde in a waterless alcohol, mg/dm ³	1,0	0,8
Mass concentration of ethers, in a count on acetethyl ether in a waterless alcohol, mg/dm ³	2,8	2,5
Volume part of methanol in a count on a waterless alcohol, %	1,8 10 ⁻³	1,6 10 ⁻³
Mass concentration of free acids (without CO ₂), in a count on acetic acid, in a waterless alcohol, mg/dm ³	9,0	7,5

Conclusion

Conducted researches affirm efficiency of the antiseptic " PHMG " use for repressing the acid-formed microflora progress in mash. The antiseptic preparation « PHMG » stimulates the production yeasts development during the optimal concentration of the antiseptic in productive substrate 20 sm³/m³.

Using the investigated antiseptic preparation for a continuous method will allow to provide microbiological cleanness of alcohol production semiproducts and to bring down the side product content of alcohol fermentation that will provide the improvement of ethanol quality indexes.

REFERENCES:

1. Instruction on chemical-technological liqueur-alcohol production control. (1999) Kyiv: Polygrafknyha.
2. Bondar, M., (2010) Improvement of antiseptization mash method in ethanol technology from starch-containing raw materials. Kyiv: dissertation on getting of the scientific degree of Ph.D.
3. Shiyani, P., Sosnytskiy, V., Oliynichuk, S., (2009) Innovative technologies of alcohol industry. Kyiv: Askaniya.
4. Slusarenko, T. (1966) Lactate bacteria - the causative agent of infections in alcohol production from melasses and fighting with them. Kiev: summary of dis. on getting of the scientific degree of Ph.D.
5. Marynchenko, V., Domaretskiy, V., Shiyani, P., (2003) Technology of alcohol. Vinnytsia: Podillia-2000.

FRACTAL BLOCK TRUNCATION CODING

Kis G.,

State University of Telecommunication, Kiev, Ukraine

Cherevyk V.

State University of Telecommunication, Kiev, Ukraine

Abstract

Proposed hybrid fractal block truncation coding (BTC) scheme - a lossy method to compress digital images. General fractal approach with fixed partitioning can't preserve fine-scale details well whereas block truncation coding preserves the first and second moments of each block and fits for texture encoding. Proposed scheme splits an image into structure and texture bands. Image structure is coded with an iterative system of affine transforms. If strong texturing is present in a block a texture is coded with BTC additionally otherwise the texture is omitted. This compression approach is a simple extension of fractal method that improves essentially decoding result quality without complex techniques like quadtree partitioning.

Keywords: video compression, fractals, block truncation coding

Introduction

This article represents a hybrid scheme of BTC and fractal coding. Firstly consider both approaches to understand possibilities of improvement.

BTC is a simple and fast lossy compression technique initially developed for digitized gray scale images. The original algorithm has been known since 1979 [1] and achieves a constant bit rate of 2 bpp. Generally, BTC provides good reconstructed image quality however, high bit rate is its main drawback.

BTC algorithm can be highlighted as follows. The image is divided into blocks of typically 4x4 pixels. Moment preserving quantization for blocks of pixels retains visually smooth perception of nearest image blocks. For each block the mean \bar{x} and standard deviation σ are calculated. Then two level quantization on the block is performed:

$$q(i, j) = \begin{cases} 1, & x > \bar{x} \\ 0, & x \leq \bar{x} \end{cases}$$

During reconstruction every 0 in the bitmap q is replaced with low value and 1 with high value:
 $x_L = \bar{x} - \sigma \sqrt{n/(m-n)}$, $x_H = \bar{x} + \sigma \sqrt{(m-n)/n}$
 here m is the total pixels quantity in a block and n is a number of zeros. Values x_L, x_H is selected to preserve the first and second momentum of the block.

Researchers are still interested in this algorithm improvement due to its simplicity and good result on photographic images. The number of modification and derivatives of the algorithm has been proposed [2] to reduce bit rate required for compression. Let consider several modifications useful for further consideration.

In absolute moment block truncation coding (AMBTC) [3] each block is quantized in such a way that each resulting block has the same sample mean and the first absolute central moment of each original block so that low and high values are:

$$x_L = \frac{1}{n} \sum_{x < \bar{x}} x, \quad x_H = \frac{1}{m-n} \sum_{x \geq \bar{x}} x$$

This modification highly simplifies calculations and at the same time increases reconstruction quality. Multi-level quantization [4] suggests more thresholds that increase reconstruction quality as well. Quadtree segmentation

improves compression rate significantly taking into consideration local properties of each block. AMBTC is applied for a block if only the difference between the higher and the lower mean is less than some threshold $x_H - x_L > t_d$ otherwise the block is divided into 4 sub-blocks. More sophisticated approach is quadtree-segmented AMBTC with bitmap omission (AMBTC-QTBO) [5]. There if the difference is less than threshold the block is encoded with mean value only. When maximum quadtree depth is reached the block is encoded with AMBTC.

Fractal compression was introduced later in 1987 by M. Barnsley and A. Sloan [6]. The fractal approach is based on Barnsley's hypothesis that self-similarity is inherent to images, and the idea of representing an image in the form of contraction mapping so that an image is represented by the coefficients of some contracting transformations rather than individual pixel properties.

With this article we are going to extend the fractal coding approach represented in our recent fractal JPEG coding scheme [7]. That algorithm uses visually salient points detection and descriptor matching inspired by image registration problem to find similar range and domain blocks.

Pure fractal approach with fixed range block size has the following quality limitation. As a range block has definite size for example 8x8 there is no way to reconstruct fine-scale details properly. Therefore we have low reconstruction PSNR for blocks having strong textures when their significant spatial frequencies are about the range block size. It was proposed to code such textured blocks with JPEG [7].

During calculation of affine transform a range/domain block residual is evaluated as well to check if the transform fulfils the condition of the collage theorem. If calculated collage PSNR value is below than some target threshold this block should be compressed with JPEG otherwise the contractive map factor is too high.

Alternatively in this research we are going to overcome fractal coding quality problems by using an image decomposition into structure and texture components [8]. In contrast to the previous approach where blocks split in the spatial domain the frequency

domain is used now. An image splits in two bands that are compressed separately. The general concept is that an image I can be regarded as composed of a structural u part, corresponding to the main objects in the image, and a textural part v , containing fine scale details, usually with some periodicity. Ideally structure and texture should be decorrelated $corr(u,v) = 0$ for independent coding. The definition of texture is vague and highly depends on the image scale. We admit a hypothesis that the structure component can be well represented with fractal coding if proper texture scale is selected.

Probably the simplest approach for splitting is a low-pass filter applying. For example, by convolution with Gaussian kernel of a proper size one can obtain $u = G(\sigma) * I, v = I - u$.

Reconstruction quality estimation for structure component u for Lenna image in dependency on kernel σ is represented in the table 1. The data confirms the fact that fractal compression with fixed block size suits better for smooth pictures.

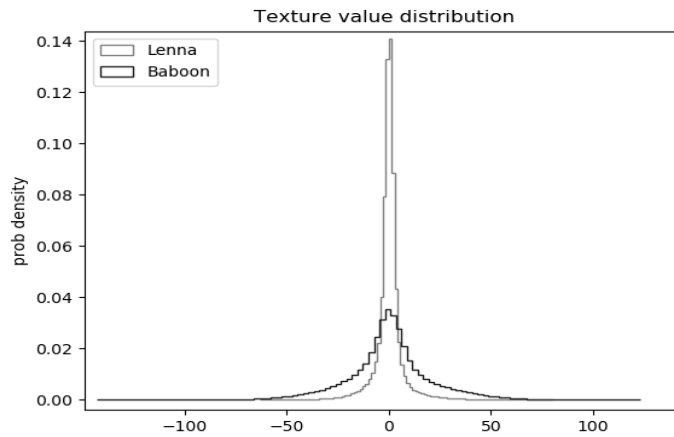
Table 1

Fractal decoding PSNR, SSIM dependency on Gaussian smoothing σ for Lenna.

σ	PSNR, SSIM block size 8x8	PSNR, SSIM block size 4x4
0, original image	27.9 0.79	30.429 0.88
0,5	28.59 0.84	31.71 0.92
1	30.37 0.89	34.20 0.95
1.5	32.14 0.91	36.55 0.96
2	33.6 0.93	38.19 0.97
4	34.2 0.89	40.91 0.97

If texture variance is too high it is needed to encode the texture for this block as well otherwise the textural part can be omitted. Texture has short-length spatial correlation only and can be effectively quan-

tized. Distribution for v seems to be close to Gaussian one (Pic. 1) with entropy < 4 that correlates with a half of spatial frequencies holding.



Pic. 1 Distribution of v for Lenna (std 6.85) and Baboon (std 20.3) images. Smoothing filter splits spatial frequency into two equal bands so that u holds $f \in [0, N/2)$ v holds $f \in [N/2, N)$.

The texture block v can be effectively compressed with 2-level AMBTC and splitting texture values into 3 bands. Low and high thresholds t_L, t_H are selected such that final decoding error is minimized. Firstly, the v block is divided to the positive $v > 0$ and negative $v < 0$ parts. Threshold values are calculated as the standard deviation for these parts:

$$t_L = \sqrt{\frac{1}{n_L} \sum_{v < 0} (v - \bar{v}_L)^2}, \bar{v}_L = \frac{1}{n_L} \sum_{v < 0} v$$

$$t_H = \sqrt{\frac{1}{n_H} \sum_{v > 0} (v - \bar{v}_H)^2}, \bar{v}_H = \frac{1}{n_H} \sum_{v > 0} v$$

Correspondingly low and high values are:

$$v_L = \frac{1}{n} \sum_{v < t_L} v, v_H = \frac{1}{m} \sum_{v > t_H} v$$

As it was mentioned before, texturing for a block is needed if only PSNR of the fractal restoration is less than target PSNR. Restoration PSNR for a block is calculated by the collage theorem. If the distance d between the original image I and the collage $W(I)$ is less than ϵ , then the distance between the original I and the fixed point I_w (the restored image) is less than $d < \epsilon / (1 - s)$, here s is a contractive mapping factor. We assume it is equal to 0.5 for simplicity. Dis-

tance d is calculated as MSE between transformed domain and target range blocks.

By its nature AMBTC is a lossy method therefore it is impossible to restore texture better than AMBTC quality capabilities (see table 2). Therefore, for fractal BTC approach decompression quality is also limited by the listed values and it is feasible to apply a quality threshold less than BTC capability in 35dB for Lenna and 30dB for Baboon.

Table 2

PSNR, SSIM for Lenna, Baboon images encoded with AMBTC

Image	Lenna, PSNR, SSIM	Baboon, PSNR, SSIM
Block size 8x8 (1.25bpp)	34.28dB, 0.89	30.13dB, 0.82
Block size 4x4 (2bpp)	36.5dB, 0.94	30.94dB, 0.88

We propose to use binary prefix codes to encode v bitmap blocks. Let '0' means v is around zero, '10' - less than the low threshold and '11' - above the high threshold. In these codes any value out of the zero band requires an additional bit. Assuming entropy of v Huffman codes can be effectively applied for encoding $[v_H], [v_L]$, giving estimation in 4 bits per value. Indeed, for symmetric distribution retaining only a single value should be enough, however we keep both of them for better quality. Finally, texture part encoded by this scheme requires $b = \{2 \cdot 4 + k + \text{count}(v \neq 0)\}$ bits per block, here k is a number of pixels in the block. It is just one of possible BTC schemes and further bitrate improvement like block prediction or interpolation is still possible and is out of scope of this research.

1. Experiment setting up and conclusions

Two images $512 \times 512 \times 8$ namely Lenna (low texturing) and Baboon (strong texturing) are selected to make a comparative study of the proposed compression technique.

The algorithm in the python language was developed using the OpenCV computer vision library. At the original image 1000 domain blocks are detected by ORB [9] algorithm with following parameters: first level = 4, levels = 5, FAST threshold = 15, edge threshold=20. For every domain and range block a descriptor is calculated as follows. The corresponding patch is rotated to align with a feature dominant direction (calculated as average gradient over the patch) and resampled to 5x5 from its original dimension. Resampled values are smoothed by 3x3 blur kernel. Then the table values are shifted to its mean and nor-

malized by variance similarly to Mahalanobis distance. After this processing the descriptors should be scale and rotation invariant and have normalized intensity distribution. Descriptors are matched with FLANN kd-tree algorithm [10]. To improve fractal decompression quality, domain 8x8 block pose are adjusted with exhaustive patch matching algorithm to minimize local MSE by patch angle and center adjustment. By applying domain block alignment, PSNR is higher in 1~2 dB [7]. For blocks of 4x4 size this alignment is not essential and requires too much computational time.

Every decoding iteration includes affine transform step and texture applying step. To reduce blocking effect after transforms 3x3 blur filter is applied improving the result PSNR.

Compression rate is estimated in assumption that affine transform has 8 parameters, namely spatial x,y shift, scale, angle and intensity shift and scale. We suppose with proper quantization the parameters data require not more than 8 bytes per block. Texture presence bit is also included into these 8 bytes. If the texture part presents it requires b bits additionally, as it has been described above.

Compression rate (here $CR = 100 \cdot \text{compressed size} / \text{original size}$) for target quality threshold in 30dB and 35dB are calculated for blocks size of 8x8 and 4x4. Texture block rate is the ratio of block number where texture should be preserved (a texture block) to total blocks number (that are 4096 and 16384 correspondingly). The result is represented in table 3.

Table 3

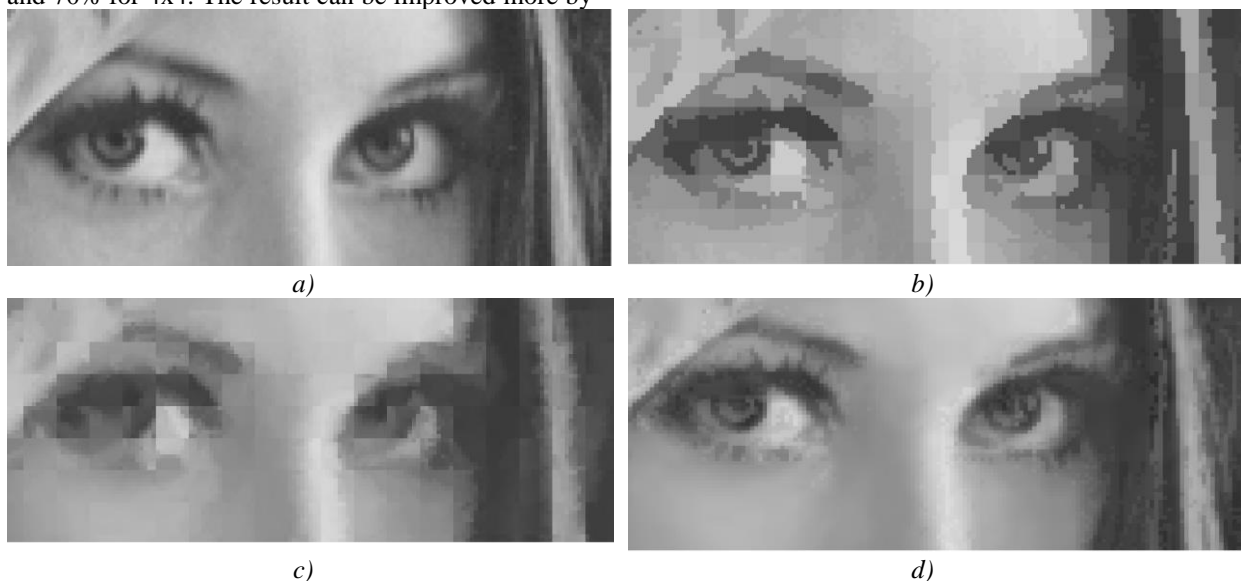
Compression rate and decoding quality estimation for Lenna and Baboon images encoded with fractal BTC

	Texture blocks# block rate %	Collage PSNR	PSNR estimation	PSNR 10 iterations	SSIM	Bit per pixel	CR
Lenna, 30dB, 8x8	1030 25%	34.58	28.56	32.83	0.90	1.43	17.90%
Lenna, 35dB, 8x8	1757 43%	35.10	29.08	33.45	0.93	1.73	21.65%
Lenna, 30dB, 4x4	3455 21%	35.45	29.43	34.56	0.92	4.47	55.87%
Lenna, 35dB, 4x4	6132 37%	36.31	30.28	35.59	0.94	4.82	60.29%
Baboon, 30dB, 8x8	3333 81%	30.43	24.40	27.15	0.86	2.41	30.09%
Baboon, 35dB, 8x8	3982 97%	30.89	24.87	27.33	0.90	2.67	33.43%
Baboon, 30dB, 4x4	12500 76%	31.37	25.35	29.20	0.90	5.66	70.81%
Baboon, 35dB, 4x4	15463 94%	31.83	25.80	29.77	0.94	6.05	75.66%

The result shows that texture information adding dramatically improves reconstruction quality of fractal encoder without segmentation to the smaller range blocks. Also fractal BTC coded image looks more natural and closer to the original than pure AMBTC result and has better SSIM however blocking effect is observable at contrast edges.

Compression rate is about 20% for 8x8 blocks and 70% for 4x4. The result can be improved more by

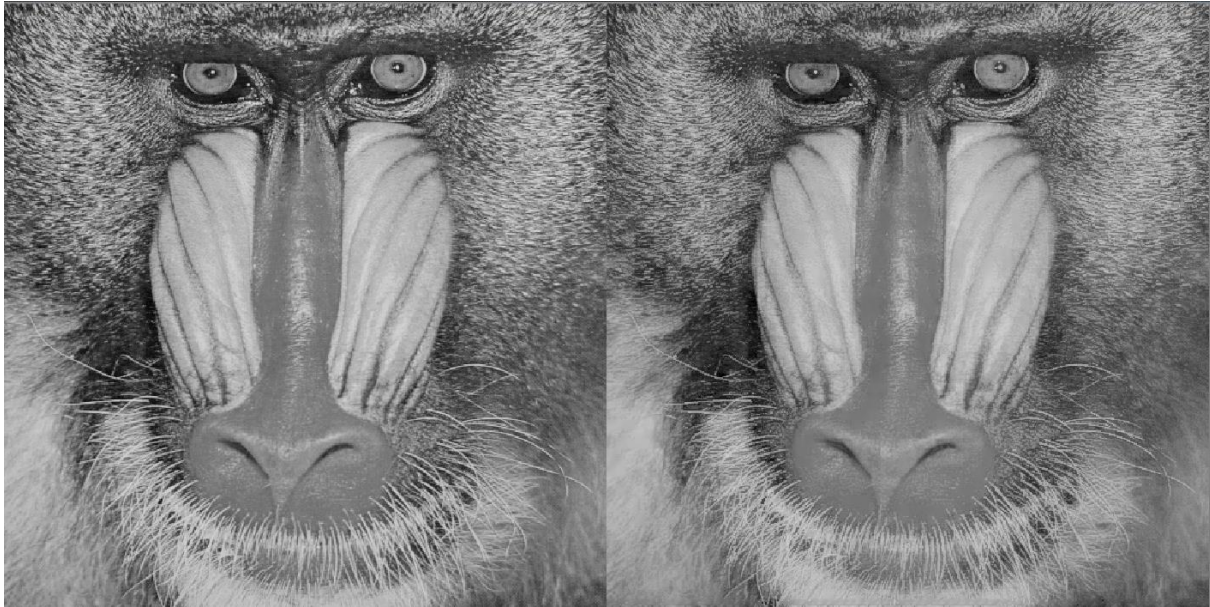
applying proper quantization, value prediction and passing the result codes to the entropy coder. On Pic.2 decoding result of AMBTC, fractal and hybrid scheme for the equal block size 8x8 is represented. It is seen perceptual quality improvement for the proposed scheme. Capability of the hybrid fractal BTC approach seems to be better than both fractal and BTC methods considered separately.



Pic.2 Fragment of original Lenna image (a) compressed with AMBTC 8x8 (b) (1.25bpp, PSNR 34.28dB, SSIM 0.89), Fractal 8x8 (c) (1 bpp, PSNR 28.58dB, SSIM 0.82), and Fractal BTC 8x8 (d) (1.68bpp, PSNR 33.08dB, SSIM 0.92)

The result for Baboon (Pic. 3) and Lenna (Pic. 4) shows that feature point approach with limited number of domain blocks in conjunction with BTC texture handling is applicable for image compression and

needed further investigation. Next investigation step is applying no search fractal coding [12] for structure component encoding as it is a simple and fast approach suitable for on-device implementation.



Pic.3

Baboon image compressed with Fractal BTC $t=35dB$, block size 8×8 , PSNR 27.33dB, SSIM 0.90, CR 33.43%



Pic.4

Lenna image compressed with Fractal BTC $t=35dB$, block size 8×8 , PSNR 33.45dB, SSIM 0.93, CR 21.65%

REFERENCES:

1. E.J. Delp, O.R. Mitchell, "Image Compression using Block Truncation Coding" IEEE, Trans. Communications, Vol. 27, 1979, pp.1335-1342
2. P. Franti, O. Nevalainen and T. Kaukoranta, "Compression of Digital Images by Block Truncation Coding: A Survey" The Computer Journal, Vol. 37, No. 4, 1994.
3. Maximo D.Lema, O. Robert Mitchell, "Absolute Moment Block Truncation Coding and its Application to Color Images", IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-32, No. 10 (1984).
4. K.Somasundaram, S.Vimala, "Multi-Level Coding Efficiency with Improved Quality for Image Compression based on AMBTC", International Journal of Information Sciences and Techniques (IJIST) Vol.2, No.2, 2012
5. Wu-Lin Chen, Yu-Chen Hu, Kuo-Yu Liu, Chun-Chi Lo and Chia-Hsien Wen, "Variable-Rate Quadtree-segmented Block Truncation Coding for Color Image Compression", International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, Vol.7, No.1 (2014), pp.65-76
6. Michael F. Barnsley, Alan D. Sloan, "Methods and apparatus for image compression by iterated function system", US4941193A, 1987
7. G. Kis, V. Cherevyk, "Using Fractal Compression In JPEG", Danish Scientific Journal (ISSN 3375-2389), Vol.1, No 42, 2020 pp. 25-32
8. Jean-François Aujol, Guy Gilboa, Tony Chan, Stanley Osher, "Structure-Texture Image Decomposition—Modeling, Algorithms, and Parameter Selection". International Journal of Computer Vision. 67 (2006) pp.111-136.

9. Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, Gary R. Bradski “ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF”. ICCV 2011: 2564-2571.

10. Marius Muja and David G Lowe. Fast approximate nearest neighbors with automatic algorithm configuration. In VISAPP (1), pp. 331–340, 2009.

11. Y. C. Hu, B. H. Su and P. Y. Tsai, “Colour image coding scheme using absolute moment block

truncation coding and block prediction technique”, Imaging Science Journal, Vol. 56, No. 5, (2008), pp. 254-270.

12. S. Furao and O. Hasegawa, “A Fast No Search Fractal Image Coding Method,” Signal Processing: Image Communication, vol. 19, no. 5, pp. 393–404, 2004

CONDITIONS FOR EFFECTIVE APPLICATION OF RELIABILITY ASSESSMENT METHODS OF THE FUNCTIONING OF ELECTRICAL DEVICES

Kyselov V.,

Senior lecturer

Cherkassy state technological university, Ukraine

Kyselova A.,

Senior lecturer

Cherkassy state technological university, Ukraine

Klyuchka K.,

Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor

Cherkassy state technological university, Ukraine

Protasov S.,

Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor

Cherkassy state technological university, Ukraine

Semko I.

Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor

Cherkassy state technological university, Ukraine

УМОВИ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Кисельов В.Б.,

старший викладач

Черкаський державний технологічний університет

Кисельова Г.О.,

старший викладач

Черкаський державний технологічний університет

Ключка К.М.,

к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет

Протасов С.Ю.,

к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет

Семко І.Б.

к.т.н., доцент

Черкаський державний технологічний університет

Abstract

Electrical devices as parts of modern electrical systems have complex circuit and structural nature, a large number of components, units and blocks. As electrical devices become more complex, the requirements for their reliability are constantly growing. Any failure is accompanied by significant losses due to the high cost of equipment and the importance of performed functions. To ensure the reliable operation of electrical devices, it is important to use effective methods to calculate their reliability. The information available in the literature on the reliability calculating methods is often quite generalized and does not always fully take into account the specifics of the operation of electrical devices.

The article is devoted to the application of the reliability assessing method of the operation of electrical devices, taking into account their operating features.

Анотація

Електротехнічні пристрої, що входять до складу сучасних електротехнічних систем, відрізняються схемною та конструктивною складністю, великою кількістю деталей, вузлів та блоків. В міру ускладнення електротехнічних пристроїв, постійно зростають вимоги до їх надійності. Будь-яка їх поломка супроводжується значними втратами із-за високої вартості апаратури, та значущістю виконуваних функцій. При забезпеченні надійного функціонування електротехнічних пристроїв, важлива роль полягає у вико-

ристанні ефективних методів розрахунку їх надійності. Наявні у літературі відомості про методи розрахунку надійності, часто є досить узагальненими та не завжди в повній мірі враховують специфіку функціонування електротехнічних пристроїв.

Стаття присвячена застосуванню методу оцінювання надійності функціонування електротехнічних пристроїв з врахуванням особливостей їх функціонування.

Keywords: electrical devices, reliability indicators, estimates of calculation accuracy, normal distribution.

Ключові слова: електротехнічні пристрої, показники надійності, оцінки точності обчислень, нормальний розподіл.

Постановка проблеми. Проблема забезпечення надійності охоплює всі етапи створення електротехнічних пристроїв (ЕП) і весь період їх практичного використання. Чинники, що впливають на надійність, можна розглядати відповідно до наступних трьох етапів створення ЕП: проектування, виготовлення та експлуатації. Відповідно цьому методи підвищення надійності ЕП також розподіляються на три групи: схемно-конструктивні, промислові та експлуатаційні [1, 2].

Схемно-конструктивні методи підвищення надійності ЕП можна розподілити на дві великі групи:

- 1) без введення надлишковості;
- 2) з введенням надлишковості (введення в ЕП додаткового обладнання або збільшення терміну виконання задач).

До першої групи відносяться наступні методи: вибір підходящих режимів роботи для елементів схеми; розробка схем з широким допуском на відхилення параметрів; стандартизація і уніфікація; доступність деталей, вузлів і блоків для огляду та ремонту; забезпечення мінімуму апаратурних затрат на реалізацію ЕП.

Друга група схемно-конструктивних методів підвищення надійності заснована на введенні тих чи інших видів надлишковості на різних етапах проектування ЕП і для різних типів відмов, так як для ЕП характерна наявність випадкових відмов. Необхідно розрізнити три види надлишковості: структурну, інформаційну і часову [1]. Методи, засновані на структурній надлишковості застосовуються для знаходження і виправлення відмов і збоїв. Методи, засновані на використанні інформаційної і часової надлишковості, зазвичай використовуються для контролю працездатності ЕП за обома типами відмов (збоєм та випадковими відмовами), для зменшення часу пошуку і локалізації несправностей [1].

Звичайно, що такий розділ методів підвищення надійності на три групи, не завжди безумовний, часто деякі методи перетинаються між собою. Однак в першому наближенні можна користуватися наведеною класифікацією.

Аналіз основних досліджень і публікацій.

Як уже зазначалося, з точки зору надійності всі пристрої доцільно розділити на дві групи: відновлювані та не відновлювані [1, 2]. В свою чергу в кожній групі необхідно виділити пристрої з основним з'єднанням елементів (в сенсі надійності) і з резервним. При основному з'єднанні елементів відмова пристрою настає при відмові будь-якого

елемента. Відмова резервованого пристрою настає при відмові основного і усіх резервних пристроїв [2].

Доцільно виділити також випадок розрахунку ЕП з контролем. При виявленні відмови контролем не допускається використання неправильних результатів функціонування та скорочується час виявлення відмови [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Вивчення надійності електротехнічних пристроїв як правило базується на припущенні, що потік відмов пристрою найпростіший, тобто задовольняє умовам стаціонарності, відсутності післядії та ординарності.

Порядок розрахунку ведеться в наступній послідовності:

1. Обумовлюються та чітко формулюються функції, які має виконувати пристрій, з вказівкою граничних значень параметрів, що визначають виконання цих функцій; уточнюються умови експлуатації пристрою і формулюється поняття відмови.

2. Проводиться розділення пристрою на блоки (вузли, каскади) з подальшим складанням схеми розрахунку надійності. Елементи схеми повинні мати власні показники надійності, а схема повинна включати тільки ті елементи, відмова яких викликає відмову всього пристрою.

3. У кожному блоці проводиться детальний аналіз електричних і температурних режимів, визначення коефіцієнтів електричних навантажень і температури всередині блоку. Однотипні елементи з однаковими режимами роботи групуються і визначається їх кількість в кожній групі.

4. Для кожної групи з графіками або формулами визначається інтенсивність відмов при відповідних режимах.

5. Визначається інтенсивність відмов блоків.

6. На кожному етапі результати розрахунку співставляються з необхідними значеннями з технічних умов (якщо вони задані) і можливі шляхи підвищення надійності пристрою з урахуванням різних факторів.

Розрахунок загальної інтенсивності відмов Λ здійснюється за виразом

$$\Lambda(\varphi) = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_i(\varphi), \quad (1)$$

де n_i – кількість елементів кожного типу з однаковими режимами;

$\lambda_i(\varphi)$ – інтенсивності відмов елементів різних типів при відповідних режимах роботи;

m – кількість груп однотипних елементів з однаковими режимами.

Метою даної статті є визначення умов ефективного застосування методів оцінювання надійності функціонування електротехнічних пристроїв.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Відомо, що якщо елементи пристрою з'єднані послідовно (в сенсі надійності) відмова пристрою відбувається при відмові будь-якого елемента. Час безвідмовної роботи значно більше часу відновлення цих елементів. У цьому випадку допустимо вважати, що відновлення здійснюється миттєво. Таке припущення значно спрощує розрахунок надійності електротехнічних пристроїв. Показники надійності залежать від режиму, в якому знаходяться елементи при відновленні одного з елементів, що відмовили. Відповідно до цього можна виділити два режими [2]:

1) при відновленні будь-якого елемента інші не можуть відмовити, тобто інтенсивність відмов справних елементів дорівнює нулю;

2) при відновленні будь-якого елемента інші знаходяться в робочому режимі, тобто інтенсивність відмов справних елементів не дорівнює нулю.

При миттєвому відновленні моменти відмов кожного елемента утворюють потоки відмов. При великій кількості елементів ці потоки можна вважати незалежними. Сума потоків відмов елементів утворює потік відмов пристрою.

Основною характеристикою потоку відмов пристрою служить параметр потоку відмов $h(t)$, що дорівнює середньому числу відмов за одиницю часу (якщо ця одиниця мала).

Якщо пристрій працює тривалий час, тобто майже всі елементи встигають відмовити по кілька разів, то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} h_i(t) = \frac{1}{T_i} = h_i; \quad \lim_{n \rightarrow \infty} h(t) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} = h, \quad (2)$$

$$T_B = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1} \left[\prod_{i=1}^n \left(1 + \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right) - 1 \right], \quad K_r = \prod_{i=1}^n \left(1 + \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^{-1}. \quad (7)$$

Загальні положення й методи теорії надійності технічних засобів в даний час досить глибоко розроблені, проте безпосереднє їх використання для розрахунку надійності електротехнічних пристроїв ускладнено з ряду причин. До них в першу чергу слід віднести дрібносерійний характер виробництва ЕП, особливості застосовуваного функціонально-вузлового методу проектування, випадковий характер чергування робочих і неузгоджених режимів використання елементів і т.д. Зазначимо також недостатню розвиненість таких методів підвищення надійності ЕП, як резервування та контроль.

Все це говорить про те, що оцінки деяких показників надійності електротехнічних пристроїв повинні виконуватися з урахуванням особливостей

де $h_i(t)$ – параметр потоку відмов i -го елемента;

T_i – середній час безвідмовної роботи i -го елемента;

$h(t)$ – параметр потоку відмов пристрою;

n – кількість послідовно включених елементів (у сенсі надійності).

Тоді

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \frac{t}{T_i}}; \quad T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i}}. \quad (3)$$

У тому випадку, коли часом відновленням не можна знехтувати, для першого режиму справедливо

$$P(t) = e^{-ht} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}, \quad T = \frac{1}{h} = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1}, \quad (4)$$

$$T_B = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h} T_{Bi} = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}, \quad (5)$$

$$K_r = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n h_i T_{Bi}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}, \quad (6)$$

де λ_i – інтенсивність відмов i -го елемента;

μ_i – інтенсивність відновлення i -го елемента.

Для другого режиму значення $P(t)$ і T збігаються з першим режимом, а середній час відновлення і коефіцієнт готовності визначаються за формулами

їх функціонування. Для обчислення ймовірності безвідмовної роботи необхідно враховувати обсяг використовуваної апаратури, її якість і режими роботи.

Первинною матеріальною основою електротехнічних пристроїв служать елементи: резистори, конденсатори, транзистори, механічні вузли. Також припустимо можливість розгляду деяких типових електронних схем, особливо в інтегральному виконанні, як первинних елементів.

Розрахунок надійності на рівні елементів не можна вважати цілком задовільним, оскільки він дає приблизні результати, що не враховують процеси в електротехнічних пристроях в цілому.

Робочий режим блоків електротехнічних пристроїв забезпечується загальною для них частиною апаратури – системою забезпечення функціону-

вання, яка складається з системи блоків живлення, пристроїв індикації і вимірювання, системи комутації тощо.

Зазначене дає підстави для розгляду шляхів розрахунку показників надійності ЕП для таких випадків: 1) вирішується конкретне завдання за допомогою відомого комплексу блоків; 2) вирішується якесь завдання одного типу; 3) вирішується довільне завдання, що стосується даного електротехнічного пристрою. При цьому передбачається, що за певний проміжок часу вирішується тільки одне завдання.

Введемо позначення: m_{ij} – кількість блоків i -го типу, що входять до складу j -ої моделі ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$); λ_i – параметр потоку відмов i -го блоку j -ої моделі (для однотипних блоків, він один і той же); Λ – параметр потоку відмов системи забезпечення функціонування.

Будемо вважати, що величини λ_i і Λ відомі, тобто отримані експериментально або розраховані заздалегідь будь-яким методом. Крім цього приймаємо, що потік відмов кожної моделі пуассонівський. Тоді можна визначити ймовірність безвідмовної роботи j -ої моделі

$$P_{ij}(t) = \exp\left[-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i m_{ij} + \Lambda\right)t_j\right], \quad (8)$$

де t_j – час використання моделі, тобто відрізок часу від моменту підключення до живлення, використовуються в моделі блоків до відключення.

Якщо ввести поняття середньої кількості використовуваних блоків у кожній моделі, яка визначається виразом

$$\bar{m}_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k m_{ij}$$

і середнім часом використання моделей

$$\bar{t} = \sum_{j=1}^k m_j,$$

то ймовірність безвідмовної роботи ЕП при вирішенні будь-якого із завдань, можна приблизно визначити за виразом

$$\bar{P}_{ij}(t) \cong \exp\left[-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{m}_{ij} + \Lambda\right)\bar{t}\right]. \quad (9)$$

Для отримання наближеної оцінки надійності ЕП при вирішенні довільного завдання доцільно використовувати поняття q -мірного характеристичного вектора $\{P_i\}$ компонентами якого є ймовір-

ність P_i набору моделі. Тоді ймовірність безвідмовної роботи ЕП може бути оцінена виразом

$$\bar{P}_{ij}(t) \cong \exp\left[-\left(\sum_{i=1}^q M_i P_i + \Lambda\right)\bar{t}\right], \quad (10)$$

де $M = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{m}_{ij}$, t – середній час розв'язання довільного завдання.

Інші показники надійності (напрацювання на відмову T_0 і коефіцієнт готовності K_3) у кожному з цих випадків можуть бути обчислені через відповідні ймовірності безвідмовної роботи. Таким чином, за допомогою обліку особливостей ЕП можна отримати уточнення оцінки надійності.

Зазначимо, що більш точні результати для опису процесу функціонування ЕП можна отримати шляхом використання теорії випадкових процесів, проте їх отримання виходить за рамки цієї роботи і тут не розглядається.

По закінченні розрахунків надійності практично при використанні будь-яких розрахункових формул виникає необхідність оцінки точності обчислень. Це обумовлено тим, що вихідні дані для розрахунку (λ – характеристики та ін.) визначаються статистичним шляхом на основі випробувань обмеженого числа комплектуючих деталей (рідше виробів) і є внаслідок цього наближеними.

Розглянемо наближений метод оцінки точності обчислень для розрахункових виразів. За виразами (2) – (7) середньостатистичне значення інтенсивності відмови пристрою Λ виражається через середньостатистичні інтенсивності відмов λ_i

$$\Lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i n_i, \quad (11)$$

де n_i – кількість однотипних деталей, k – кількість однотипних найменувань.

Будемо вважати, що інтенсивності відмов, які були використані при розрахунку, являють собою середні значення із сукупності λ – характеристик $\bar{\lambda}_i$. Розкид значень λ – характеристик визначено дисперсією σ_i^2 , розподіл λ можна вважати нормальним [5]

$$\varphi(\lambda_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\lambda_i - \bar{\lambda}_i)^2}{2\sigma_i^2}\right\}. \quad (11)$$

Вважаючи λ_i незалежними випадковими величинами, отримаємо

$$\varphi(\Lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\sum_{i=1}^K \sigma_i^2}} \exp \left\{ -\frac{\left(\Lambda - \sum_{i=1}^K \bar{\lambda}_i \right)^2}{2 \sum_{i=1}^K \sigma_i^2} \right\}, \quad (12)$$

де $\sum_{i=1}^K \bar{\lambda}_i = M(\Lambda)$ (M – знак математичного сподівання).

Задаючись довірчою ймовірністю $\alpha = \alpha_i$ за даними [4], знаходимо квантиль нормального розподілу для цієї ймовірності Λ_α , а потім нижню і верхню довірчі межі для Λ

$$\Lambda_H \approx \Lambda - \Lambda_\alpha \sigma(\Lambda); \quad \Lambda_\alpha \approx \Lambda + \Lambda_\alpha \sigma(\Lambda). \quad (13)$$

Тоді значення Λ перебуватиме з довірчою ймовірністю α у межах

$$\Lambda - \Lambda_\alpha \sigma(\Lambda) \leq \Lambda \leq \Lambda + \Lambda_\alpha \sigma(\Lambda). \quad (14)$$

Якщо для λ_i задано середнє значення $\bar{\lambda}_i$, верхня і нижня довірчі межі $\lambda_{iв}$, $\lambda_{iн}$ і довірча ймовірність α_i , σ_i можна визначити приблизно з використанням виразу (14).

Невисокє значення довірчої ймовірності і широкі межі для Λ свідчать про низьку точність результатів обчислень і навпаки, невеликий розкид границь щодо Λ при високих значеннях довірчої ймовірності (0,8–0,96) свідчать про достатню точність розрахунку.

Висновки. Таким чином запропоновано доцільні умови застосування наближеного методу оцінки точності обчислень надійності функціонування електротехнічних пристроїв. При цьому, для кожного конкретного типу електротехнічних пристроїв рекомендується ретельно аналізувати всі типи відмов, а також їх вплив на результати функціонування з урахуванням важливості виконуваних завдань і часу, протягом якого необхідно вирішити завдання.

При проектуванні, в якості основних показників надійності використовуються: ймовірність безвідмовної роботи, напрацювання на відмову, коефіцієнт готовності, а при експлуатації – ще, додатково, ймовірність роботи без збоїв.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Надійність та діагностика електрообладнання: Підручник /О.В. Губаревич. Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 248с.
2. Павлов И. В. Статистические методы оценки надежности сложных систем по результатам испытаний. М.: Радио и связь, 1982. – 168 с.
3. Сидняев Н. И. Математическое моделирование оценки надежности объектов сложных технических систем. Проблемы машиностроения и надежности машин, 2003, №4. С. 24–32.
4. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. М., «Советское радио», 1968. – 18 с.
5. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля надежности. М., «Советское радио», 1962. – 304 с.

THE INFLUENCE OF AN UNBALANCED LOAD ON THE QUALITY INDICATORS OF ELECTRICAL ENERGY

Lukina G.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Irkutsk National Research Technical University

Parfirova A.,

student. Irkutsk National Research Technical University

Parfenova V.

student. Irkutsk National Research Technical University

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Лукина Г.В.,

кандидат технических наук, доцент.

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Парфирова А.А.,

студент. Иркутский национальный исследовательский технический университет

Парфенова В.С.

студент. Иркутский национальный исследовательский технический университет

Abstract

The article is devoted to the study of the main indicators of electric energy. The most detailed consideration is given to the problem of voltage asymmetry, its sources and its influence on electrical equipment. The analysis of data from the study of 0.38 kV networks was performed.

Аннотация

Статья посвящена изучению основных показателей электрической энергии. Наиболее подробно рассмотрен вопрос несимметрии напряжения, его источники и влияние на электрооборудование. Произведен анализ данных исследования сетей 0,38 кВ.

Keywords: electric energy, quality of electric energy, quality indicators, voltage asymmetry, voltage asymmetry coefficient.

Ключевые слова: электрическая энергия, качество электрической энергии, показатели качества, несимметрия напряжения, коэффициент несимметрии напряжения.

Электрическая энергия, как товар, применяется во всех сферах жизнедеятельности человека, имеет специфические свойства и непосредственно участвует при создании других видов продукции, влияя на их качество. Понятие качества электрической энергии имеет отличия от понятия качества других видов продукции. Каждый электроприемник предназначен для работы при заданных параметрах электрической энергии: номинальных токе, частоте, напряжении и т.п., поэтому для нормальной его работы качество электроэнергии должно быть соответствующим. Таким образом, качество электрической энергии – это совокупность характеристик электроэнергии, при которых электроприемники могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции.

Согласно ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» устанавливаются следующие показатели качества [1]:

- отклонение частоты;
- медленные изменения напряжения;
- колебания напряжения и фликер;
- несинусоидальность напряжения;
- несимметрия напряжения;
- прерывания напряжения;
- провалы напряжения;
- перенапряжения;
- импульсные напряжения.

Несимметрия напряжений является одним из основных параметров качества электроэнергии. Трёхфазное напряжение является симметричным, если оно имеет одинаковую величину и находится в фазном смещении в 120° . В обратном случае – напряжение несимметрично. Причина возникновения несимметрии напряжений – это потребитель с несимметричной нагрузкой, т.е. потребитель с неравномерной загрузкой по фазам. Источниками несимметрии напряжений являются электросварочные машины, дуговые сталеплавильные печи, руднотермические печи, индукционные плавильные печи, тяговые подстанции переменного тока, однофазные электротермические установки и другие однофазные, двухфазные и несимметричные трёхфазные потребители электроэнергии, в том числе бытовые [2]. Несимметричные режимы напряжений в электрических сетях имеют место в аварийных ситуациях – при несимметричных коротких замыканиях или при обрыве фазы. Также причинами несимметрии могут служить неполнофазная работа линий или других элементов в сети и различные параметры линий в разных фазах.

Несимметрия напряжений характеризуется наличием в трёхфазной электрической сети напряжений обратной или нулевой последовательностей, которые значительно меньше по величине соответствующих составляющих напряжения прямой (основной) последовательности (рис. 1, рис. 2).

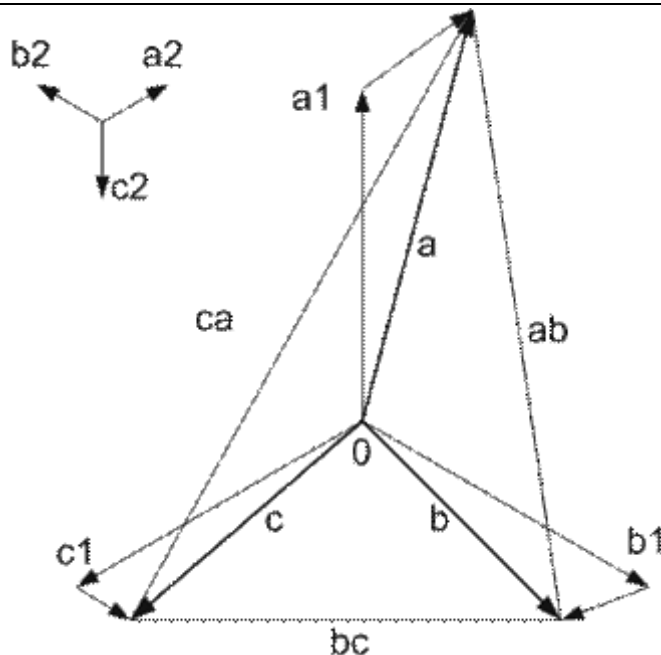


Рисунок 1- Векторная диаграмма напряжений прямой и обратной последовательности

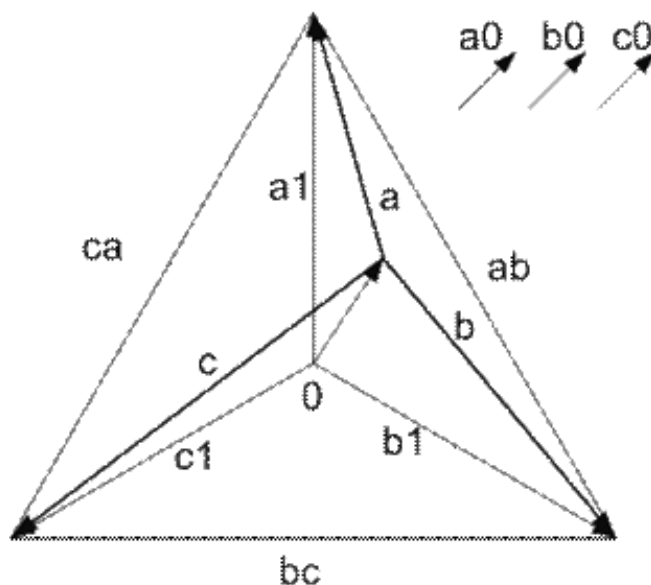


Рисунок 2- Векторная диаграмма напряжений прямой и нулевой последовательности

Показателями качества электрической энергии, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0u} и коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2u} [1].

ГОСТ 32144-2013 устанавливает следующие нормы для данных показателей:

✓ значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2u} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0u} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю[1];

✓ значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2u} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0u} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю[1].

Формулы расчета коэффициентов несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям приведены ниже:

$$K_{2u} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} * 100\%, \quad (1)$$

где K_{2u} – коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, %;

$U_{2(1)}$ - действующее значение напряжения обратной, В [2];

$U_{1(1)}$ - действующее значение напряжения прямой последовательности, В.

$$K_{0u} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{1(1)}} * 100\%, \quad (2)$$

где K_{0u} – коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, %;

$U_{0(1)}$ - действующее значение напряжения нулевой последовательности, В [2].

По опубликованным данным, величина коэффициента обратной последовательности токов сетях 0,38 кВ достигает 30–40 % [3]. При этом, на зажимах электроприемников возникает несимметрия напряжений, превышающая в 2...2.5 раза допустимое ГОСТом значение, а отклонение напряжения от номинального составляет –23...+18 % вместо допустимых ± 5 %.

По результатам замеров, при помощи компьютерной программы «Несимметрия», был произведен расчет и построены временные диаграммы коэффициентов несимметрии обратной и нулевой последовательностей напряжения от времени проведения эксперимента в действующих сетях 0,38 кВ.

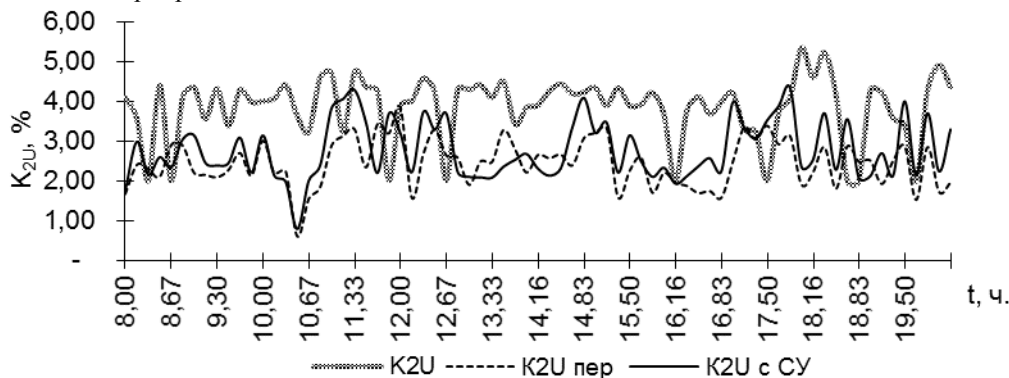


Рисунок 3 - Временные диаграммы коэффициентов обратной последовательности напряжений K_{2U}

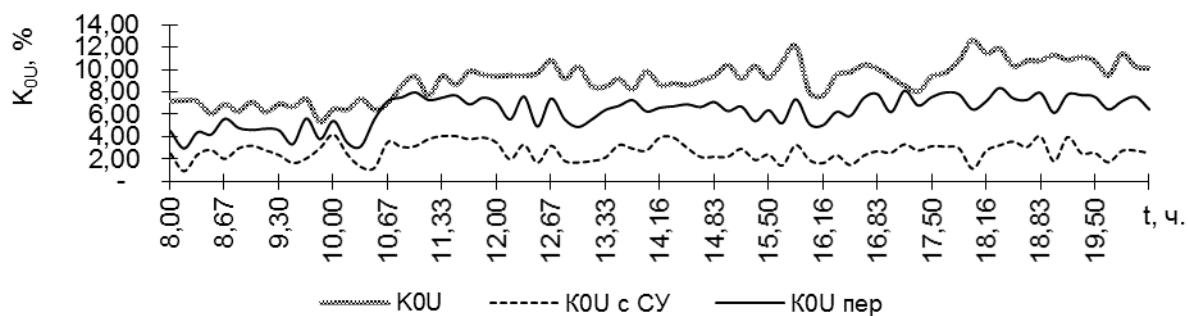


Рисунок 4 - Временные диаграммы коэффициентов нулевой последовательности напряжений K_{0U}

Анализ графиков во временной функции (рис. 3, 4) показывает, что в исследуемом промежутке времени максимальное значение коэффициента обратной последовательности напряжения в действующей сети без СУ составило 5.35 %, математическое ожидание - $M(K_{2U})$ 3.86 %; для коэффициента нулевой последовательности напряжения соответственно - 12,07 % и $M(K_{0U})$ - 9.02 % [6].

Влияние несимметрии напряжений на работу электрооборудования:

- в электрических сетях возрастают потери электроэнергии от дополнительных потерь в нулевом проводе[5];

- при несимметрии напряжений и токов, в массивных металлических частях ротора создаются вихревые токи, которые вызывают повышенный нагрев ротора, и пульсирующий электромагнитный момент, который вызывает вибрацию вращающейся части машины;

- особенно неблагоприятно несимметрия напряжения сказывается на работе асинхронных

двигателей. Ток обратной последовательности вызывает дополнительный нагрев ротора и статора, что приводит к быстрому старению изоляции и уменьшению располагаемой мощности двигателя[5];

- благодаря обратно или нулевой последовательностей напряжений (токов) происходят неточные измерения у измерительных приборов;

- из-за несимметрии напряжения снижается срок службы ламп, так как световой поток светильников одной фазы уменьшается, а другой увеличивается;

- несимметрия напряжения не оказывает заметного влияния на работу воздушных и кабельных линий. В свою очередь для трансформаторов наблюдается значительное сокращение сроков службы[5].

Данные о сокращении сроков службы при несимметрии напряжений в 2%: асинхронных двигателей – на 10,8 %; синхронных – на 16,2 %;

трансформаторов – на 4 %; конденсаторов – на 20 % [5].

Вывод: Несимметрия напряжения является актуальной проблемой электроэнергетических систем. Коэффициенты обратной и нулевой последовательности напряжения, характеризующие качество электроэнергии, значительно превышают установленные ГОСТом значения. Каждое из перечисленных влияний несимметрии напряжений создает помимо дополнительных экономических затрат на эксплуатацию и обслуживание, проблемы с безопасностью энергосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»;
2. Войнов С.Л. Нормирование показателей качества электроэнергии и их оптимизация;

3. Наумов И.В. Несимметричная нагрузка в сети 0,38 кВ и потери мощности / И.В. Наумов, Ф.Д. Косоухов, Г.В. Лукина. // Электротехника (Объединенный научный журнал). –2002. - № 2 . - С. 50-52.;

4. Антонов А. И., Зозуля Е.Ю., Руди Д.Ю. Исследование зависимости коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности от мощности силового трансформатора;

5. Карташев И.И, Тульский В.Н. Управление качеством электроэнергии;

6. Лукина Г.В. Характеристика фермерских и пригородных распределительных сетей 0,38 кВ и приемников электрической энергии. – Иркутск: ИрГСХА, 2002. –7 с. - Деп. В ВИНТИ 22. 01. 02. № 93 – В 2002.

Vol.1

№46/2021

ISSN 3375-2389

The journal publishes materials on the most significant issues of our time. Articles sent for publication can be written in any language, as independent experts in different scientific and linguistic areas are involved.

The international scientific journal “Danish Scientific Journal” is focused on the international audience. Authors living in different countries have an opportunity to exchange knowledge and experience.

The main objective of the journal is the connection between science and society. Scientists in different areas of activity have an opportunity to publish their materials. Publishing a scientific article in the journal is your chance to contribute invaluablely to the development of science.

Editor in chief – Lene Larsen, Københavns Universitet
Secretary – Sofie Atting

- Charlotte Casparsen – Syddansk Erhvervsakademi, Denmark
- Rasmus Jørgensen – University of Southern Denmark, Denmark
- Claus Jensen – Københavns Universitet, Denmark
- Benjamin Hove – Uddannelsescenter Holstebro, Denmark
- William Witten – Iowa State University, USA
- Samuel Taylor – Florida State University, USA
- Anie Ludwig – Universität Mannheim, Germany
- Javier Neziraj – Universidade da Coruña, Spain
- Andreas Bøhler – Harstad University College, Norway
- Line Haslum – Sodertorns University College, Sweden
- Daehoy Park – Chung Ang University, South Korea
- Mohit Gupta – University of Calcutta, India
- Vojtech Hanus – Polytechnic College in Jihlava, Czech Republic
- Agnieszka Wyszynska – Szczecin University, Poland

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies

Danish Scientific Journal (DSJ)
Istedgade 104 1650 København V Denmark
email: publishing@danish-journal.com
site: <http://www.danish-journal.com>